

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA  
TITULACIÓN DE GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE  
CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR  
DE MOVIMIENTO (SFM)

Madrid, (Julio, 2017)

*Alumno: **Javier Gabás Jiménez***

*Tutor: **Dr. Julián Aguirre de Mata***

*Cotutor: **Dr. Serafín López-Cuervo Medina***

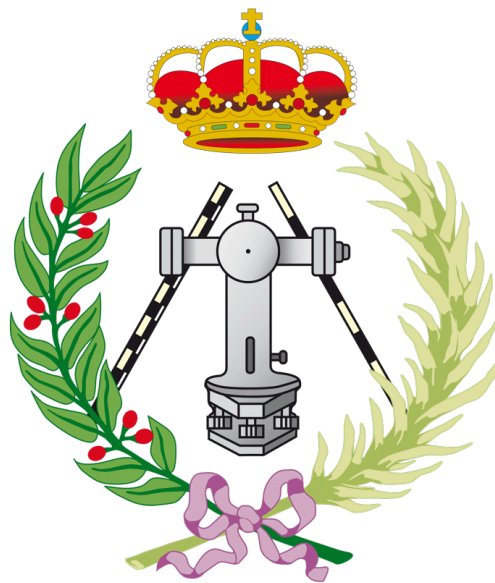
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS EN TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFÍA

TITULACIÓN DE GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE  
CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR  
DE MOVIMIENTO (SFM)



Madrid, (Julio, 2017)

Alumno: **Javier Gabás Jiménez**

Tutor: **Dr. Julián Aguirre de Mata**

Cotutor: **Dr. Serafín López-Cuervo Medina**

***Quod quisque possit, nisi tentando nesciat***

*(No se puede saber de lo que cada uno es capaz si no se pone a prueba) Publilius Syrus.*

*Para ti Sil porque tú lo has hecho posible, a mi familia por su apoyo y comprensión estos años,  
especialmente a mi madre y a mis tutores por facilitarme los medios.*

## CONTENIDO

1. RESUMEN .....	8
1.1 ABSTRACT .....	8
1.2 ÍNDICE DE FIGURAS .....	9
1.3 ÍNDICE DE TABLAS .....	10
1.4 ÍNDICE DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	11
2. INTRODUCCIÓN .....	12
2.1 ÁREA DE ESTUDIO .....	12
2.1.1 LOCALIZACIÓN .....	12
2.1.2 DESCRIPCIÓN .....	12
2.1.3 RESEÑA HISTÓRICA.....	13
2.1.4 FESTIVIDAD .....	14
2.1.5 PROTECCIÓN.....	14
2.2 ANTECEDENTES .....	14
2.2.1 MÉTODO GENERAL DE LA FOTOGRAMETRÍA.....	15
2.3 MOTIVACIÓN .....	18
2.4 ALCANCE .....	18
3. OBJETIVO .....	19
3.1 PRINCIPAL .....	19
3.2 SECUNDARIO .....	19
3.3 OTROS.....	19
<b>BLOQUE I PREPARACIÓN .....</b>	<b>20</b>
4. LEGISLACIÓN .....	21
4.1 REQUISITOS .....	21
4.2 ENCLAVES .....	21
5. AVIONES CONTROLADOS DE FORMA REMOTA (RPA).....	22
6. EQUIPOS .....	22
6.1 PHANTOM 4 .....	22
6.1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	23
6.1.2 CAMARA .....	23
6.1.3 GIMBAL.....	25
6.1.4 BATERÍA .....	26
6.1.5 CONTROLADOR REMOTO .....	27
6.2 LEICA TPS 1202+ .....	28



6.2.1 DESVIACIONES TÍPICAS.....	29
7. PLAN DE VUELO .....	30
7.1 PROYECTO DE VUELO .....	30
<b>BLOQUE II TOMA DE DATOS .....</b>	<b>32</b>
8. LEVANTAMIENTO .....	30
8.1 INSTRUMENTOS .....	33
8.2 BASES.....	34
8.3 PUNTOS DE CONTROL MAYOR.....	34
8.4 PUNTOS DE CONTROL MENOR.....	34
9. TOMA DE FOTOGRAFÍAS .....	35
9.1 TOMA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS.....	35
9.2 TOMA DE FOTOGRAFÍAS TERRESTRE .....	36
<b>BLOQUE III CÁLCULOS .....</b>	<b>37</b>
11. CÁLCULOS.....	38
11.1 POLIGONAL.....	38
11.2 INTERSECCIÓN DIRECTA SIMPLE .....	38
11.2.1 CÁLCULO DE LA PLANIMETRÍA .....	38
11.2.2 ALTIMETRÍA .....	41
11.3 RADIACIÓN.....	42
<b>BLOQUE IV MODELADO 3D .....</b>	<b>43</b>
12. AGISOFT PHOTOSCAN .....	44
12.1 REQUISITOS DEL SISTEMA .....	44
12.2 REQUISITOS DE MEMORIA .....	45
12.3 REQUISITOS DE HARDWARE.....	46
13. FOTOGRAFÍAS.....	47
13.1 EXIF .....	48
14. ALGORITMOS BASADOS EN ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM) .....	49
14.1 FUNCIONAMIENTO.....	49
15. MATCHING .....	50
16. INTERPOLACIÓN .....	51
17. CÁLCULOS AGISOFT PHOTOSCAN .....	52
17.1 ORIENTACIÓN.....	52
17.2 NUBE DE PUNTOS DENSA.....	55
17.3 MALLA .....	57

17.4 TEXTURA.....	59
17.5 DEM O MDT.....	60
17.6 ORTOFOTO .....	60
18. MODELO 3D.....	61
18.1 VUELO 3D .....	62
18.2 IMPRESIÓN 3D.....	63
<b>BLOQUE V RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
19. RESULTADOS .....	65
<b>BLOQUE VI PRESUPUESTO.....</b>	<b>76</b>
20. ESTUDIO ECONÓMICO .....	77
20.1 COSTES DEL PROYECTO .....	81
21. EXPLOTACIÓN.....	82
22. CONCLUSIONES .....	82
23. BIBLIOGRAFÍA.....	84
25. WEBS .....	85
<b>CAPITULO VII ANEXOS.....</b>	<b>86</b>
<b>CAPITULO VIII RESEÑAS.....</b>	<b>91</b>
<b>CAPITULO IX PLANOS.....</b>	<b>92</b>



## 1. RESUMEN

En el siguiente proyecto se han realizado las tareas de toma de datos, fotografías y levantamiento en campo mediante técnicas topográficas, de la Ermita de Los Santos de la Humosa, usando una aeronave controlada remotamente (RPA) y equipos topográficos. Además, se ha realizado el cálculo de la poligonal, la intersección directa, la altimetría y la radiación, realizando el correspondiente ajuste y cálculo de tolerancias y estudio de precisiones.

Por otro lado aplicando algoritmos de estructura a partir de movimiento (SFM) mediante el programa Agisoft PhotoScan para realizar el modelo 3D se ha integrado un vuelo horizontal y un vuelo vertical en un único modelo de datos, también se han generado diferentes modelos y se ha realizado un estudio de precisiones y comparativa de resultados.

Finalmente a partir de los diferentes bloques generados, se han integrado en una única nube de puntos muy densa, se ha triangulado y obtenido un modelo de alta precisión, en ella se ha aplicado la textura de los fotogramas con calidad fotorealista y se ha generado un modelo renderizado tridimensional.

Como resultados se han obtenido un modelo virtual expuesto en Sketchfab y ortofotos de las diferentes fachadas de la ermita.

### 1.1 ABSTRACT

In the following project, data collection, photographs and field survey were carried out using topographic techniques from the Los Santos de la Humosa Hermitage using a remotely controlled aircraft (RPA) and topographic equipment. In addition, the calculation of the traverse, direct intersection, altimetry and radiation was carried out, making the corresponding adjustment and calculation of tolerances and study of precisions.

On the other hand, applying structural algorithms based on motion (SFM) using the Agisoft PhotoScan program, the 3D model has integrated horizontal flight and vertical flight into a single data model, different models have been generated and Carried out a study of precisions and comparative results.

Finally, from the different blocks generated, they have been integrated into a single dense cloud of dense, triangulated and obtained a model of high precision, it has applied the texture of the frames with photorealistic quality and has generated a Three-dimensional rendered model. As results have been obtained a virtual model exposed in Sketchfab and ortofotos of the different facades of the hermitage.

## 1.2 ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Ilustración 1: Croquis histórico interior de la Ermita.</i>	12
<i>Ilustración 2: Proceso toma fotográfica.</i>	15
<i>Ilustración 4: Orientación Interna.</i>	15
<i>Ilustración 5: Orientación Externa.</i>	16
<i>Ilustración 6: Orientación mediante estereoscopia.</i>	16
<i>Ilustración 7: Productos fotogramétricos.</i>	17
<i>Ilustración 8: RPA Phantom 4.</i>	22
<i>Ilustración 9: Posiciones del Gimbal.</i>	25
<i>Ilustración 10: Batería del Phantom 4.</i>	26
<i>Ilustración 11: Cargador del Phantom 4.</i>	26
<i>Ilustración 12: Controlador remoto Phantom 4.</i>	27
<i>Ilustración 13: Estación total Leica TPS 1202+.</i>	28
<i>Ilustración 14: Posiciones de las cámaras.</i>	36
<i>Ilustración 15: Esquema proceso SFM.</i>	49
<i>Ilustración 16: Representación de Píxeles.</i>	51
<i>Ilustración 17: Código Python para cargar imágenes.</i>	52
<i>Ilustración 18: Opciones disponibles para orientar las imágenes.</i>	53
<i>Ilustración 19: Código Python para orientar imágenes.</i>	53
<i>Ilustración 20: Código Python para ver los metadatos de las imágenes.</i>	53
<i>Ilustración 21: Opciones calidad de la nube de puntos densa.</i>	55
<i>Ilustración 22: Opciones filtro de la nube de puntos densa.</i>	55
<i>Ilustración 23: Código Python para generar la nube de puntos densa.</i>	55
<i>Ilustración 24: Opciones para generar la malla.</i>	57
<i>Ilustración 25: Código Python para generar la malla.</i>	57
<i>Ilustración 26: Detalle de la triangulación del campanario.</i>	58
<i>Ilustración 27: Opciones para generar la textura.</i>	59
<i>Ilustración 28: Código Python para generar la textura.</i>	59
<i>Ilustración 29: Opciones para generar el MDT.</i>	60
<i>Ilustración 30: Código Python para generar el MDT.</i>	60
<i>Ilustración 31: Opciones para generar la ortofoto.</i>	60
<i>Ilustración 32: Código Python para generar la ortofoto.</i>	60
<i>Ilustración 33: Código Python para exportar el modelo.</i>	61
<i>Ilustración 34: Detalle del modelo 3D.</i>	61
<i>Ilustración 35: Detalle del modelo 3D con textura fotorealista.</i>	61
<i>Ilustración 36: Código HTML para insertar el modelo generado en Sketchfab.</i>	62
<i>Ilustración 37: Código BBCode para insertar el modelo generado en sketchfab.</i>	63
<i>Ilustración 38: Visualización de la página de Sketchfab una vez insertado el modelo 3D.</i>	63
<i>Ilustración 39: Ermita generada en baja resolución.</i>	73
<i>Ilustración 40: Comparativa de resultados.</i>	74
<i>Ilustración 41: Detalle Porche.</i>	75
<i>Ilustración 42: Detalle Torre.</i>	75

### 1.3 ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Características Técnicas Phantom 4.</i>	23
<i>Tabla 2: Cámara Phantom 4.</i>	23
<i>Tabla 3: Inclinación del Gimbal.</i>	25
<i>Tabla 4: Características Técnicas de la batería DJI PH4 - 5350.</i>	26
<i>Tabla 5: Características Técnicas del cargador del Phantom 4.</i>	26
<i>Tabla 6: Características Técnicas del controlador remoto del phantom 4.</i>	27
<i>Tabla 7: Características Técnicas de la estación total Leica TPS 1202+.</i>	28
<i>Tabla 8: Cálculo de las desviaciones típicas a priori.</i>	30
<i>Tabla 9: Cálculo del plan de vuelo.</i>	31
<i>Tabla 10: Útiles de topografía.</i>	33
<i>Tabla 11: Coordenadas de la poligonal.</i>	38
<i>Tabla 12: Error de cierre de la poligonal.</i>	38
<i>Tabla 13: Coordenadas planimetrías de los puntos de apoyo.</i>	41
<i>Tabla 14: Coordenadas altimétricas de los puntos de apoyo.</i>	42
<i>Tabla 15: Coordenadas de los puntos radiados.</i>	42
<i>Tabla 16: Consumo de memoria de durante la orientación con el programa Agisoft PhotoScan.</i>	45
<i>Tabla 17: Consumo de memoria de durante la generación de puntos densa en el modo altura de campo con el programa Agisoft PhotoScan.</i>	45
<i>Tabla 18: Consumo de memoria de durante la generación de puntos densa con el programa Agisoft PhotoScan.</i>	46
<i>Tabla 19: Consumo de memoria de durante la generación de la malla con el programa Agisoft PhotoScan.</i>	46
<i>Tabla 20: Bloques de toma de fotografías.</i>	47
<i>Tabla 21: EXIF de ejemplo obtenido de una fotografía.</i>	48
<i>Tabla 22: Orientación de los diferentes bloques de fotografías.</i>	54
<i>Tabla 23: Generación de nube de puntos densa de los diferentes bloques de fotografías.</i>	56
<i>Tabla 24: Generación de de la malla de los diferentes bloques de fotografías.</i>	58
<i>Tabla 25: Coeficientes de calibración y matriz de correlación del bloque Aéreo.</i>	65
<i>Tabla 26: Coeficientes de calibración y matriz de correlación del bloque Terrestre.</i>	66
<i>Tabla 27: Coeficientes de calibración y matriz de correlación del bloque General con todas las imágenes.</i>	67
<i>Tabla 28: Comparativa de nube de puntos de enlace.</i>	68
<i>Tabla 29: Errores puntos de apoyo en el bloque Aéreo.</i>	69
<i>Tabla 30: Errores puntos de apoyo en el bloque Terrestre.</i>	70
<i>Tabla 31: Errores puntos de apoyo en el bloque General.</i>	70
<i>Tabla 32: Comparativa de errores de los tres bloques.</i>	71
<i>Tabla 33: Comparativa de errores punto a punto, (se han sombreado los mejores en cada caso).</i>	72
<i>Tabla 34: Libreta de campo.</i>	88

## 1.4 ÍNDICE DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AEB	Horquillado automático de exposición (Automatic Exposure Bracketing)
API	Interfaz de programación de aplicaciones (Application Programming Interface)
CCD	Dispositivo de carga acoplada (Charge Coupled Device)
CD	Disco compacto (Compact Disc)
CMOS	Semiconductor de Óxido Metálico (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)
CPU	Unidad central de proceso (Central Processing Unit)
CUDA	Arquitectura Unificada de Dispositivos de Cómputo (Compute Unified Device Architecture)
DNG	Negativo Digital (Digital Negative)
EIRP	Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (Equivalent isotropically Radiated Power)
ESH	Ermita de los Santos de la Humosa
FOV	campo de visión (Field Of View)
GNSS	sistema global de navegación por satélite (Global Navigation Satellite System)
GPS	Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System)
GPU	Unidad de procesamiento gráfico (Graphics Processor Unit)
HDR	Alto rango dinámico (High Dynamic Range)
JPEG	Grupo Conjunto de Expertos en Fotografía (Joint Photographic Experts Group)
LED	Diodo emisor de luz (Light-Emitting Diode)
MVS	Estéreo de múltiples vistas (Multi-View Stereo)
RAM	Memoria de acceso aleatorio (Random Access Memory)
RPA	Aeronave controlada remotamente (Remotely Piloted Aircraft)
SFM	Estructura a partir de movimiento (Structure From Motion )
SIFT	Transformación de la característica sin escalas (Scale-Invariant Feature Transform)
TPS	Estaciones Totales (Total Station)
UAS	Sistema aéreo no tripulado (Unmanned Aerial System)
UAV	Vehículo aéreo no tripulado (Unmanned Aerial Vehicle)

## 2. INTRODUCCIÓN

### 2.1 ÁREA DE ESTUDIO

#### 2.1.1 LOCALIZACIÓN

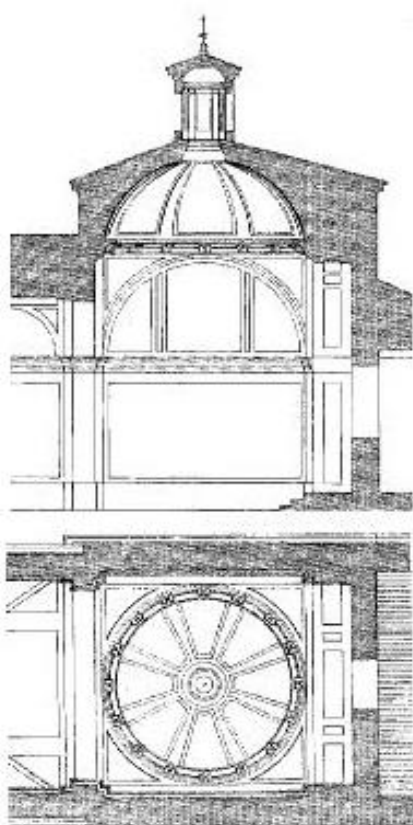
La Ermita está situada en el término municipal de los Santos de la Humosa (Madrid) en la vega del río Henares, en su margen izquierda, en el punto donde se encuentra el camino de la Fuente del Lobo con el de la Perucha, que desemboca en la carretera local M-226, junto al puente sobre el río Henares.

#### 2.1.2 DESCRIPCIÓN

La Ermita de los Santos de la Humosa, en adelante "E.S.H." es una edificación barroca con muros de ladrillo y cajones de mampostería.

Dicho edificio, de planta rectangular alargada, muestra una disposición canónica, con la cabecera a oriente y los pies hacia occidente, en la que se suceden la nave principal, el presbiterio y la sacristía. Así pues, consta de una sola nave con bóveda de cañón y coro alto a los pies, así como de una capilla mayor cuadrada con cúpula sobre pechinas y una sacristía adosada a la cabecera.

La construcción está realizada en aparejo toledano, con cajones de mampostería vista entre hiladas de ladrillo. A excepción del porche donde está la puerta de entrada, que en lugar de emplear cajones de mampostería, se apoya sobre dos columnas con tacos de ladrillo en las esquinas y guijarros.



Toda la construcción se muestra cubierta con teja cerámica árabe: dispuesta a dos aguas en la nave, a cuatro aguas en el falso crucero, y a tres en la sacristía trasera.

La puerta recta de la entrada principal con jambas y dintel adovelado de sillería caliza, que está bajo un arco de descarga de ladrillo, nos da acceso a una nave única, dividida en cinco tramos por pilastras rectas resaltadas sin basa ni capitel que sostienen una cornisa corrida de la que surge una serie de arcos fajones que modulan la bóveda de cañón carpanelada en otros tantos tramos perforados por lunetos a ambos lados.

En toda la nave la única fuente de iluminación es una pequeña ventana enrejada bajo el coro a los pies.

Por otra parte, un resalte más pronunciado hace destacar el arco toral o carpanel que separa el presbiterio, con las paredes rematadas por cuatro arcos de medio punto que sostienen las pechinas sobre las que descansa una cornisa circular soportada por ménsulas pareadas, que señala la transición a la cúpula hemisférica de la cubierta, dividida a su vez en ocho gajos mediante otros tantos nervios que convergen en un anillo circular bajo la linterna. El arco de la pared del presbiterio se prolonga con una bóveda de cañón poco profunda para formar una mínima capilla mayor.

*Ilustración 1: Croquis histórico interior de la Ermita.*



Adicionalmente, haciendo ángulo recto con el costado meridional de la cabecera de la E.S.H, puede verse una construcción exenta identificada comúnmente como la “casa del santero”, un edificio auxiliar de una sola estancia rectangular con sendas ventanas abiertas en los costados Norte y Oeste y que pertenecía a la villa de Los Santos. Dicha casa hoy en día completamente arruinada, en su momento fue construida con similar técnica que el templo, con paramentos de aparejo toledano sobre un basamento de mampostería de gruesos cantos rodados, rematados por una cornisa volada de ladrillo en sardinel y con estructura de madera revestida de teja cerámica.

### 2.1.3 RESEÑA HISTÓRICA

La leyenda vinculada a este santuario tiene su origen en el hallazgo de una imagen de época visigoda escondida ante la invasión árabe y redescubierta milagrosamente tras la misma, que como narran las Respuestas a Lorenzana de 1786 “se apareció en el paraje donde hoy tiene la ermita a un pastor que observó salir varias veces salir humo de aquel paraje hasta que, indagando lo que sería, halló la imagen de María Santísima”; de donde algunos dicen que viene “el llamarse este pueblo La Humosa”, pues la nueva población castellana se estableció en torno al templo, que sería su primitiva iglesia parroquial, “dedicada a la Natividad de Nuestra Señora la Virgen María con el título de Nuestra Señora de la Humosa” y situada a la orilla del río Henares.

Por desgracia, en aquellos tiempos, debido a su localización este pueblo fue propenso a sufrir epidemias de malaria o paludismo por lo que sus habitantes se vieron obligados a abandonar las orillas del río así como trasladarse y edificar casas en el sitio en donde hoy permanece y sólo subsiste la ya mencionada ermita y una casa que es propia de la villa.

Se desconoce la fecha exacta de construcción de este edificio, bien podría datar del siglo XII, e incluso pudo ser reconstruida en 1384 como señalan algunos autores no obstante, la primera referencia directa que tenemos es de noventa años más tarde, cuando convertida ya en ermita el arzobispo Alonso Carrillo de Acuña la anexó al “beneficio curato” del lugar de Los santos de La Humosa.

Después, las llamadas Relaciones Topográficas de Felipe II hicieron que en 1576 en este templo se atesorara reliquias de San Cristóbal mártir, San Félix mártir, San Pablo Apóstol, San Pedro, Santa Ana, Santa Columba, Santa Crispina, Santa Hipólita, Santa Margarita, y las “once mil Vírgenes”, sin otras muchas que no se saben, que están en un relicario por no saber leer ni entender sus títulos, que están en vocablos alemanes”.

Un siglo más tarde, entre 1677 y 1684 el edificio fue completamente reedificado, junto con la casa del santero, que debe de ser la “propia de la villa” antes citada y que se dispuso en ángulo con la ermita creando un espacio a modo de plaza ante la puerta.

Respecto a los frescos de la cabecera sabemos por las inscripciones que datan de 1724 sin embargo algunos sufrieron daños provocados por el famoso terremoto de Lisboa de 1755, que llegó a resquebrajar la cúpula.

En cuanto a las piezas de valor más destacadas conservadas en este templo sabemos que después de la Guerra Civil se denunció su desmantelamiento lamentando sobretudo la pérdida de la antigua imagen de vestir de la Virgen, que databa de 1566 pero que guardaba en su interior varios trozos de madera de la original identificada por algún autor con la que el Papa San Gregorio magno envió supuestamente a San Leandro hacia el año 590, aunque lo más probable es que fuese una talla medieval románica o gótica, sucesivamente restaurada y que fue sustituida por una reproducción moderna, coronada en 1951 por el obispo Juan Ricote Alonso, antiguo párroco de la villa.

#### 2.1.4 FESTIVIDAD

Desde el principio, el templo mantuvo la devoción de los pobladores y vecinos pero esto se acentuó mucho más al ser elegida como depósito de numerosos relicarios procedentes de los países protestantes como se explicó antes.

Donde se encuentra la E.S.H. hay una plaza para acoger al numeroso público que asiste cuando hay alguna celebración; pues aunque la iglesia es capaz de albergar 200 personas, por ejemplo cuando se celebra el día de la Natividad de la Virgen y su Célebre Aparecimiento, la celebración más importante del pueblo, concurre infinidad de gente procedente de los pueblos vecinos.

Así, es tradición que el domingo siguiente a la festividad de San Isidro conocido popularmente como San Isidrillo se baja a la virgen de la Humosa, patrona del municipio celebrando su fiesta el 8 de septiembre, con misa y procesión, gigantes y cabezudos, bailes, encierros y corridas de toros, y fuegos artificiales. Mientras que el último domingo de agosto por la noche tiene lugar una procesión en la que se sube la virgen al pueblo la Virgen de la Humosa desde su ermita a la parroquia, con profusa iluminación de hogueras y quema de rastrojos así como fogatas a un lado y otro de la carretera para recordar que apareció entre humo; volviendo a su ermita el domingo siguiente al 15 de mayo.

#### 2.1.5 PROTECCIÓN

Al igual que la anterior tiene protección integral dentro de las Normas de Planeamiento Municipal.

**Usos:** Religioso

**Propiedad:** En posesión de la correspondiente autoridad eclesiástica.

**Protección:** Integral (Normas Subsidiarias de Planeamiento Municipal, 1998)

### 2.2 ANTECEDENTES

**Fotogrametría:** Ciencia, arte y técnica de obtener información fiable de los objetos y su entorno mediante el registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas y datos obtenidos a partir de energía electromagnética radiante y otros fenómenos.

La fotogrametría es la técnica cuyo fin es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera, utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto (Bonneval).

## 2.2.1 MÉTODO GENERAL DE LA FOTOGRAMETRÍA

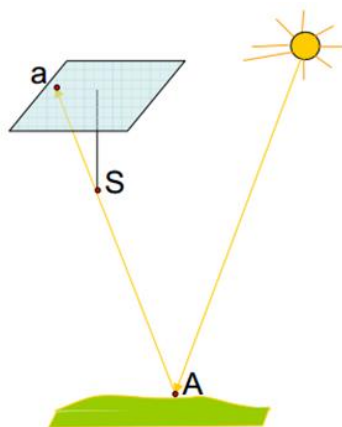
El Método General de la Fotogrametría clásica fue formulado en los años sesenta por Bonneval para el contexto específico de la Fotogrametría Analógica Aérea Estereoscópica. El Método se basa en el concepto de haz perspectivo (gerbe perspective), en su formación y en su reconstrucción.

Haz perspectivo es el conjunto de semirrectas que unen la superficie de un objeto tridimensional con un centro de proyección o punto de vista. Una imagen fotográfica es una forma de registro de un haz perspectivo.

El Método General de la Fotogrametría se articula en dos pasos:

Proceso de toma fotográfica: el haz perspectivo queda registrado en la imagen fotográfica: en este proceso, cada rayo de luz procedente del objeto (A) atraviesa la lente de la cámara (punto de vista, S) y forma una imagen (registro del haz) sobre la película o el CCD situados en el plano focal (a).

Se trata de un proceso bien definido: conocida la posición de A, conocida la posición de S y conocida la geometría y orientación de la cámara se puede calcular la posición del punto imagen (a) sobre la misma.



*Ilustración 2: Proceso toma fotográfica.*

Proceso de reconstrucción de la superficie del objeto: dada la imagen y dado un punto identificado sobre la misma (a), se trata de determinar (dar coordenadas) el punto correspondiente sobre la superficie del objeto. Este proceso se lleva a cabo a través de los siguientes cuatro pasos:

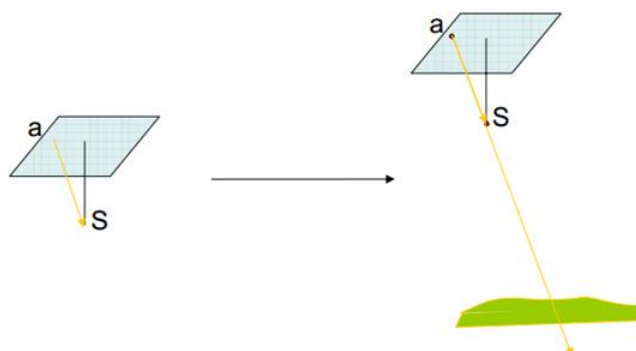
1. Orientación interna: reconstrucción de la forma del haz perspectivo o lo que es lo mismo reconstrucción de la cámara con la que se obtiene la imagen. El punto imagen a queda referido al punto de vista S, es decir, se determina el vector  $aS$ .



*Ilustración 3: Orientación Interna.*

2. Orientación externa: reconstrucción de la posición y orientación del haz perspectivo respecto del objeto. Esta reconstrucción puede hacerse en dos pasos:

- Orientación Relativa: los haces perspectivos (cuando hay más de uno) se orientan entre sí.
- Orientación Absoluta: los haces perspectivos, una vez orientados entre sí, se sitúan respecto del objeto.



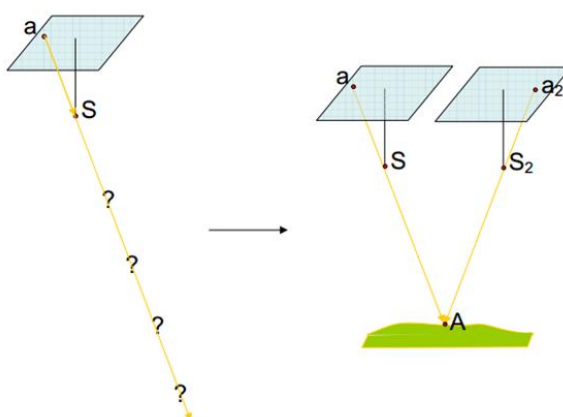
*Ilustración 4: Orientación Externa.*

3. Identificación de rayos homólogos.

Las orientaciones internas y externas del apartado anterior abren el camino a la reconstrucción del objeto pues a partir de este instante puede situarse la cámara en el espacio tridimensional en el momento en que se tomó la imagen. De esta manera, el vector  $S_a$ , que puede reconstruirse tras la orientación interna, puede situarse en el espacio en relación con el objeto. Sin embargo, esto no nos permite reconstruir el punto A pues, aunque sabemos que este se encuentra sobre el vector  $aS$ , no sabemos, sin embargo a qué distancia a lo largo del mismo se encuentra.

Ello nos lleva a la necesidad de emplear un segundo punto, homólogo del primero, situado sobre una segunda imagen. Si se ha llevado a efecto la orientación interna y la orientación externa de esta imagen, se verificará que el punto objeto A se encuentra simultáneamente sobre los dos vectores los dos vectores  $aS$  y  $a_2S_2$ .

Tradicionalmente, la identificación de puntos homólogos se ha realizado mediante la visión estereoscópica con la ayuda de la marca flotante en un modelo libre de paralaje (orientado). De ahí, la importancia que este paso tiene en el conjunto del Método General de la Fotogrametría.



*Ilustración 5: Orientación mediante estereoscopia.*

Cuando nació en los años sesenta el método General de la Fotogrametría, este estaba muy condicionado por el procedimiento entonces empleado de forma completamente masiva: el procedimiento analógico estereoscópico aéreo. La evolución experimentada desde entonces hace necesaria la siguiente matización:

Este paso puede resolverse sin el concurso de la visión estereoscópica. Para ello se emplea la identificación singular, en cada una de las imágenes, de los puntos homólogos. Al proceder así, se pierde la potencia de la visión estereoscópica pero se gana la posibilidad de involucrar a tantas imágenes como se quiera (robusteciendo así la configuración de toma) y se gana asimismo la posibilidad de implantar una red de toma más flexible que la impuesta por las exigencias de la toma estéreo.

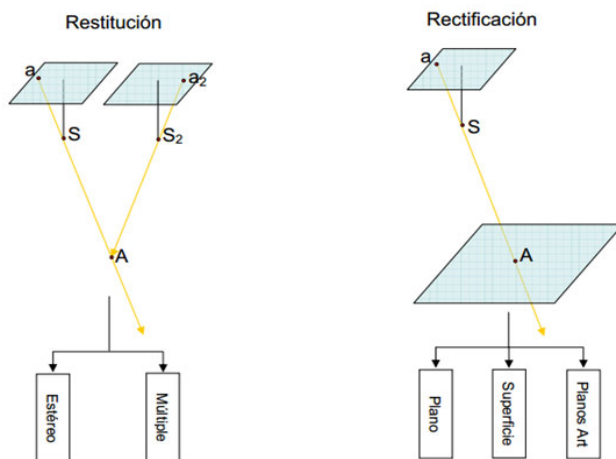


Ilustración 6: Productos fotogramétricos.

En segundo lugar, y más importante, debe decirse que no es estrictamente necesario involucrar una segunda imagen. Puede trabajarse con una sola imagen siempre que se pueda imponer una restricción que elimine la ambigüedad comentada anteriormente relativa a la localización del punto objeto a lo largo del vector  $aS$ .

Una forma muy habitual en Fotogrametría Terrestre (arquitectónica) de plantear esta restricción es forzando a que el punto del objeto esté contenido en un plano (por ejemplo el plano de una fachada) o bien en una superficie conocida (cilindro, esfera, cono o cuádrica en general) o bien en una serie articulada y conocida de planos (como por ejemplo los distintos planos verticales y ortogonales entre sí de un edificio).

Esta segunda serie de soluciones al paso 3 del Método General de la Fotogrametría quedan recogidas bajo la categoría de la Rectificación Fotogramétrica (frente a la Restitución Fotogramétrica) que se caracteriza, en cualquier caso, por el hecho de que el objeto se recupera como un modelo bidimensional.

4. Representación del punto objeto: una vez identificado los puntos homólogos queda tan sólo proceder a la representación del punto objeto, homólogo de los dos primeros. En la época analógica, este proceso era costoso pues implicaba desarrollar sofisticados procedimientos de transmisión mecánica desde el restituidor propiamente dicho a la mesa de dibujo.

En la etapa digital, se trata de un proceso trivial pues las rectas  $aS$  y  $a_2S_2$  han quedado determinadas en el paso anterior y tan sólo resta calcular la intersección de las mismas para obtener las coordenadas 3D del punto buscado.

## 2.3 MOTIVACIÓN

Con los avances en fotogrametría y la cada vez mayor proliferación de equipos de toma de datos a gran escala como los escáneres láser, los sistemas radar o lidar y las fotografías de alta resolución y calidad, junto al reciente impulso de los drones, se ha querido desarrollar un proyecto de alto componente tecnológico pero de bajo presupuesto, esto descarta el uso de equipos de escáner láser por su elevado coste económico.

Se ha recurrido de este modo a la fotogrametría, que aunque el proceso de toma de datos es mucho más laborioso, con un proceso metódico se pueden conseguir mejores resultados y lo que es mejor a un precio mucho menor.

Para ello se ha empleado la fotogrametría con drones, con la actual demanda de estos aparatos, cada vez se desarrollan equipos dron mucho más estables, con mejores resoluciones, más autosuficientes y de bajo costo.

Además otra de las motivaciones es mi pasión por la arqueología y el mundo 3D, poder reproducir, mostrar y guardar elementos que por sus características no resistirán invariablemente el transcurso del tiempo.

Esta combinación de la más avanzada tecnología junto a la historia y la arqueología atrae sobremedida, que aunque siendo compleja permite plasmar con eficacia y precisión la realidad.

## 2.4 ALCANCE

Este proyecto va dirigido a personas de carácter técnico, para poder ser empleado en la rehabilitación de la ermita o su posterior estudio, además se quiere plantear a lo largo del proyecto un posible sistema a seguir para alcanzar el modelado 3D y su posterior difusión, por lo que además también va dirigido a los entusiastas de la fotogrametría y el mundo del modelado 3D.

### 3. OBJETIVO

A continuación se detallan los objetivos que se quieren conseguir a lo largo del proyecto.

#### 3.1 PRINCIPAL

El objetivo principal de este proyecto es la reconstrucción en tres dimensiones a partir de un conjunto de fotografías de la Ermita la Virgen de la Humosa mediante técnicas fotogramétricas y algoritmos de estructura a partir de movimiento (SFM). Para ello se ha combinado una aeronave controlada remotamente (RPA) y equipos topográficos para realizar la toma de datos como la utilización de los más avanzados programas para el posterior procesamiento y análisis de resultados.

Se prestará especial atención a la unión de dos métodos de captura fotogramétrica, la toma de fotogramas vertical que supone el vuelo sobre la Ermita y la toma horizontal que supone la captura de alzados. Dentro del objetivo principal está la integración de ambas fuentes en un único modelo de datos, su ajuste y renderizado para posteriormente ser exhibido para dar a conocer esta bella Ermita.

#### 3.2 SECUNDARIO

Obtención de ortofotos para la posterior digitalización de las diferentes fachadas, para una posible futura remodelación o para el mantenimiento de ella, ya que nos permitirá crear planos precisos y valorar su actual estado.

#### 3.3 OTROS

Realizar una comparativa de resultados con el programa Agisoft PhotoScan.

# BLOQUE I

# PREPARACIÓN



## 4. LEGISLACIÓN

El marco regulatorio actual vigente se rige por el BOE del viernes 17 de octubre del 2014, sección 6ª Aeronaves civiles pilotadas por control remoto, artículos 50 y 51.

Ley 18/2014, de 15 de octubre, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia. Esta nueva regulación responde a la necesidad de establecer un marco jurídico que permita el desarrollo en condiciones de seguridad de un sector tecnológicamente puntero y emergente.

Real Decreto-Ley 8/2014, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia, en cuya sección 6ª se recoge el régimen temporal para las operaciones con aeronaves pilotadas por control remoto, los llamados drones, de peso inferior a los 150 kg al despegue, en el que se establecen las condiciones de explotación de estas aeronaves para la realización de trabajos técnicos y científicos.

Ley 48/1960, de 21 de Julio, sobre Navegación Aérea.

### 4.1 REQUISITOS

Antes de trabajar con un Dron se tiene que ser piloto de drones, es decir, tener conocimientos teóricos y prácticos del modelo de aeronave a pilotar, tener certificado médico y seguro de responsabilidad civil en vigor.

Los requisitos comunes para poder volar un dron inferior a 2 kg son:

Estar en espacio aéreo no controlado y a 8 km o más de cualquier aeropuerto, aeródromo o helipuerto, no volar en zonas urbanas, aglomeraciones de edificios o grupos de personas al aire libre, contar con condiciones meteorológicas favorables y siempre de día y volar a una altura máxima de 120 m (400 pies).

### 4.2 ENCLAVES

Inicialmente se buscaba una ermita a 20 km de Madrid. Se seleccionaron 3 ermitas que reunían las características iniciales de búsqueda, sin embargo uno de los temas importantes en el proceso de vuelo con UAVs es la normativa a cumplir en los vuelos.

La actual normativa es muy estricta con las distancias a núcleos urbanos y zonas permitidas para vuelos.

Las ermitas seleccionadas no reunían los requisitos técnicos permitidos. Además, se dio otro problema como es el de la cercanía de árboles a las fachadas, que obligaría a realizar un importante número de tomas por la corta distancia a las mismas.

Por ese motivo, se seleccionó la ermita Los Santos de la Humosa que reunía todos los requisitos, tanto técnicos como legales, y a una distancia ligeramente superior a la buscada inicialmente.

## 5. AVIONES CONTROLADOS DE FORMA REMOTA (RPA)

Entre los diferentes sistemas que existen se puede hacer una clasificación y distinción, dependiendo de la forma de vuelo y de control remoto del aparato, a continuación alguna definición de los diferentes términos que se emplean:

**RPA (Remotely Piloted Aircraft):** Aviones controlados de forma remota. Se usa esta definición especialmente para indicar que está siendo controlado por un operario de forma remota.

**RPAS (Remotely Piloted Aircraft System):** Sistema aéreo tripulado de forma remota, en el caso de que se incluya el aparato y el sistema de control. Este término ha ido haciéndose hueco en todo tipo de informes, sobre todo de la UE (Europa), que llama con este nombre a los aparatos de uso civil.

**Dron / drone:** Puede considerarse una adaptación válida al español del sustantivo inglés drone (literalmente abeja macho o zángano), que se usa en aeronáutica para denominar los vehículos aéreos no tripulados, la mayoría de uso militar. Sin embargo, este término no figura aún en el diccionario de la Real Academia de la Lengua por lo que no existe como tal.

**UAV (Unmanned Aerial Vehicle):** Vehículo aéreo no tripulado.

**UAS (Unmanned Aerial System):** Sistema aéreo no tripulado, es decir, el avión más el sistema de control.

Drone y UAV / UAS suelen ser denominaciones para aparatos militares y RPA/RPAS para uso civil.

## 6. EQUIPOS

Los equipos utilizados a lo largo del proyecto se describen en los siguientes subapartados.

### 6.1 PHANTOM 4

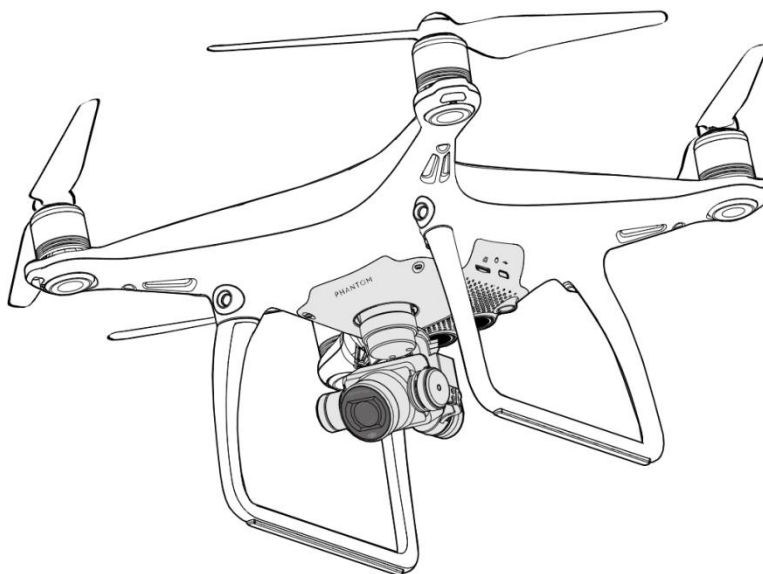


Ilustración 7: RPA Phantom 4.

### 6.1.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

La aeronave controlada remotamente (RPA) DJI Phantom 4 se trata de un quadricoptero inteligente capaz de rastrear objetos y evitar obstáculos.

Características Técnicas	
Peso (Incluido batería)	1380 g
Máxima velocidad de subida	6 m/s (Modo Sport)
Máxima velocidad de descenso	4 m/s (Modo Sport)
Velocidad máxima	20 m/s (Modo Sport)
Máxima altitud sobre el nivel del mar	6000 m (500 m sobre el punto de despegue)
temperatura de funcionamiento	0° a 40° C
Sistemas de satélites	GPS / GLONASS
Precisión	Vertical: +/-0.5 m
	Horizontal: +/-1.5 m

Tabla 1: Características Técnicas Phantom 4.

### 6.1.2 CAMARA

Con la Cámara que trae el Phantom 4, un sensor CMOS de 1/2,3 pulgadas, se puede grabar vídeos 4K a un máximo de 30 fotogramas por segundo y tomar fotografías de 12 megapíxeles. La previsualización inmediata de lo que ve la cámara se puede supervisar en el dispositivo móvil conectado.

Cámara	
Sensor	1/2.3" Píxeles efectivos: 12 M
Lente	FOV ( Campo de visión ) 94° 20 mm ( 35 mm formato equivalente) f/2.8 focus at $\infty$
Rango ISO	100 - 1600 ( Photo )
Velocidad del obturador electrónico	8 s to 1/8000 s
Max. Tamaño de la imagen	4000 × 3000
Modos de Fotografía	Un solo tiro
	Disparo Burst: 3 / 5 / 7 frames
	Auto Exposure Bracketing ( AEB ) 3 / 5 bracketed frames at 0.7 EV Bias
	Time-lapse
	HDR
Sistemas de archivos compatibles	FAT32 ( ≤ 32 GB )
	exFAT ( > 32 GB )
Foto	JPEG, DNG ( RAW )
Tarjetas SD compatibles	Micro SD, Máx capacidad: 64 GB
Temperatura de funcionamiento	0°a 40° C

Tabla 2: Cámara Phantom 4.

### **Sensor Sony EXMOR 1/2.3" Píxeles efectivos: 12.4 M (Píxeles totales: 12.76 M)**

Se trata de un sensor de vídeo fabricado por Sony, específico para smartphones. Dentro de la familia EXMOR existe la versión R, que lleva el CMOS retroiluminado y las versiones RS, tecnológicamente mucho más avanzado, ya que va montado por capas, y esto hace que su tamaño sea mucho más pequeño.

### **Lens FOV (Campo de visión) 94° 20mm (35mm format equivalent) f/2.8, focus at $\infty$**

F/2.8 es la relación focal de la cámara del Phantom 4 y expresa la apertura máxima del objetivo respecto a su distancia focal, en este caso son 20 mm (Gran Angular), que equivale a un 35mm en formato Full Frame. Dividiendo el formato equivalente entre el formato real (35mm/20mm) nos da un factor de recorte de 1,75.

### **Iso Range 100-1600 (photo)**

Podemos resumir el ISO como: "La mayor calidad de imagen con una cámara digital se obtendrá usándola a su menor sensibilidad ISO equivalente". Esto quiere decir que a mayor ISO más luz le entra al sensor, por contrapartida también genera más ruido, especialmente en zonas oscuras de la imagen. Hay que saber combinar el ISO con la apertura del diafragma y el tiempo de exposición.

### **Velocidad del obturador electrónico 8s -1/8000s**

El tiempo de exposición es lo que tarda el obturador en abrirse y cerrarse. El obturador es una cortinilla que se abre en el momento de disparar y limita el tiempo que la luz penetra en la cámara y llega al sensor. El tiempo que la luz está alcanzando el sensor digital es lo que se llama tiempo de exposición lo que significa que a menor luz, mayor tiempo de exposición y con mucha luz menor tiempo de exposición.

### **Max. Tamaño de la imagen 4000 x 3000**

Tamaño máximo en megapíxeles que podemos usar para sacar una fotografía.

#### **Modos de Fotografía**

Modos en los que podemos hacer una fotografía.

- **Single Shot**

Un único disparo

- **Burst Shooting: 3/5/7 shots**

Modo ráfaga, que puede hacer hasta 7 fotografías seguidas.

- **Auto Exposure Bracketing (AEB): 3/5**

Es un modo bastante interesante para hacer fotografías en HDR o Alto rango dinámico, se realizan 3 fotografías seguidas con distintos rangos de exposición, una con la exposición correcta, la segunda más luminosa y la tercera más oscura, finalmente es posible juntar estas imágenes en programas externos como Photoshop para crear imágenes más impactantes con luces y sombras.

- **Bracketed Frames at 0.7EV Bias**

Relacionado con el AEB descrito anteriormente para manejar las distintas exposiciones.

- **Time-lapse**

Secuencia de fotografías tomadas cada x tiempo y que finalmente generan un video. Son los llamados vídeos a cámara lenta.

**Sistemas de archivos compatibles**

Sistema de ficheros soportados por la cámara. Las extensiones FAT32/exFAT son sistemas de formato de la tarjeta. El Fat32, soporta un archivo máximo de 32 GB y el exFat sería teóricamente ilimitado.

**Photo: JPEG, DNG**

JPEG, imagen con valores fijos y DNG, foto en formato RAW, donde podremos cambiar todos los valores con algún programa externo de retoque fotográfico como Photoshop.

**6.1.3 GIMBAL**

El gimbal de 3 ejes proporciona una plataforma estable para la cámara acoplada, lo que le permite capturar imágenes y vídeo estabilizados. El gimbal permite inclinar la cámara hasta 120 grados lo que nos permite tomar imágenes tanto horizontales como verticales.

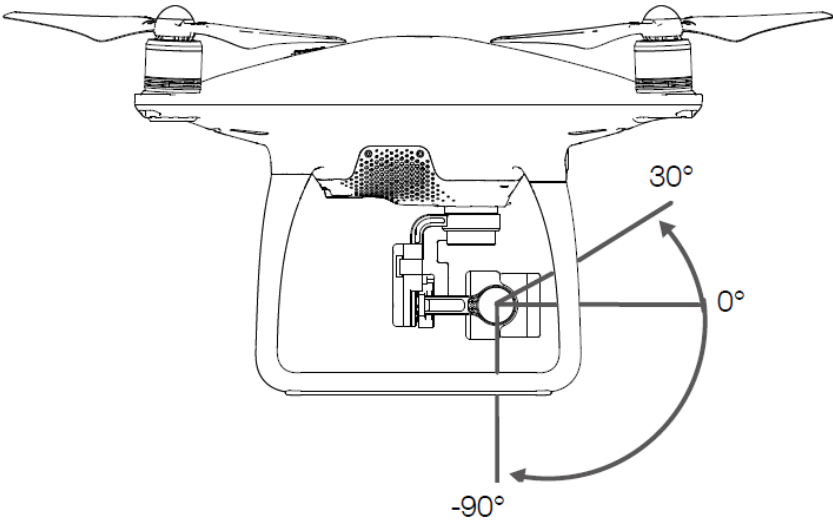


Ilustración 8: Posiciones del Gimbal.

Gimbal	
Rango controlable	-90° a +30°

Tabla 3: Inclinación del Gimbal.

#### 6.1.4 BATERÍA

La Batería de vuelo inteligente DJI PH4 - 5350 mAh -15.2 V nos da una autonomía de aproximadamente 28 minutos de vuelo y con un peso neto de 262 g:

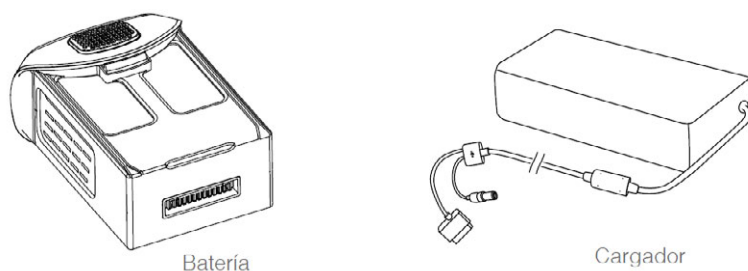


Ilustración 9: Batería del Phantom 4.

Batería	
Capacidad	5350 mAh
Voltaje	15.2 V
Tipo de Batería	LiPo 4S
Energía	81.3 Wh
Peso neto	462 g
Temperatura de funcionamiento	-10° a 40° C
Potencia máxima de carga	100 W
Autonomía	Aprox. 28 min

Tabla 4: Características Técnicas de la batería DJI PH4 - 5350.

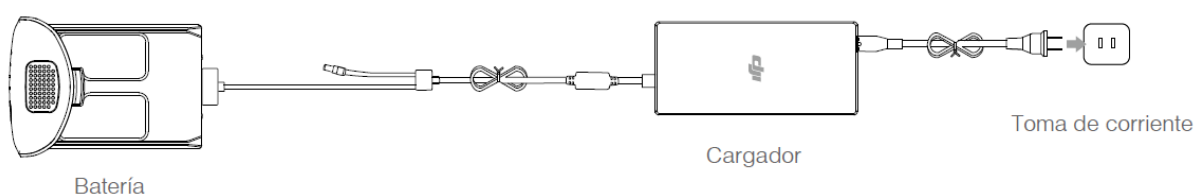


Ilustración 10: Cargador del Phantom 4.

Cargador	
Voltaje	17.4 V
Potencia nominal	100 W

Tabla 5: Características Técnicas del cargador del Phantom 4.

### 6.1.5 CONTROLADOR REMOTO

El controlador remoto es un dispositivo de comunicación inalámbrica multifunción que integra los sistemas de transmisión de vídeo y de control remoto de la aeronave.

Los sistemas de transmisión de vídeo y de control remoto de la aeronave funcionan a 2,4 GHz. Incluye distintas funciones de control de cámara, como la realización y la previsualización de fotos y vídeos, así como el control del movimiento del gimbal.

El controlador remoto está alimentado por una batería 2S recargable. El nivel de la batería se muestra mediante indicadores LED en el panel frontal del controlador remoto.

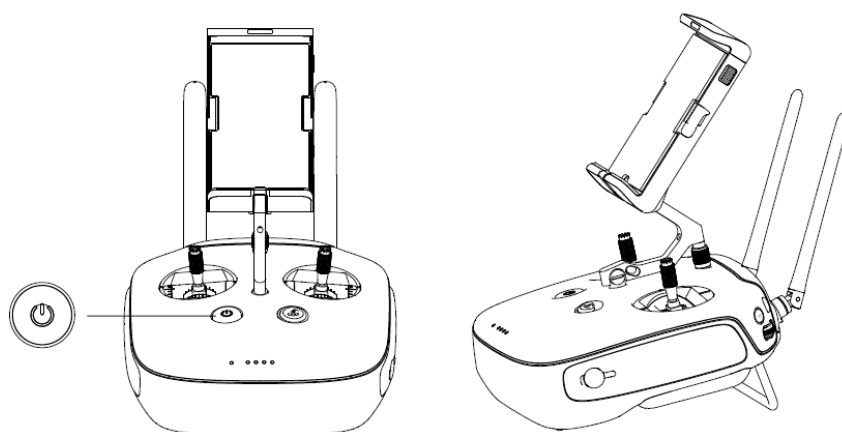


Ilustración 11: Controlador remoto Phantom 4.

Control remoto	
Frecuencia de operación	2.400 GHz a 2.483 GHz
Max. Distancia de transmisión	FCC Compliant: 5 km
	CE Compliant: 3.5 km
Temperatura de funcionamiento	0° a 40° C
Batería	6000 mAh LiPo 2S
Potencia del transmisor (EIRP)	FCC: 23 dBm
	CE: 17 dBm
Tensión de funcionamiento	7.4V @ 1.2A

Tabla 6: Características Técnicas del controlador remoto del phantom 4.

## 6.2 LEICA TPS 1202+

Los datos técnicos generales de la estación total Leica TPS 1202+ se detallan a continuación:

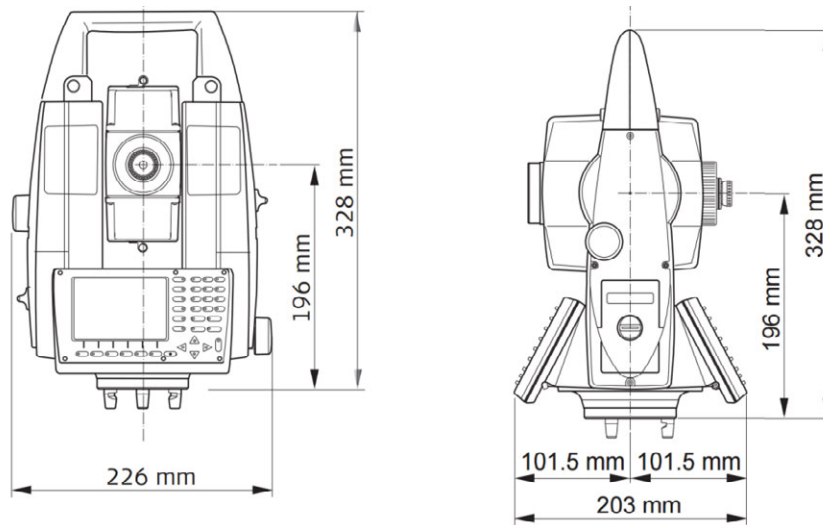


Ilustración 12: Estación total Leica TPS 1202+.

Leica TPS 1202+	
Aumentos del anteojo	30 x
Precisión de estabilización del compensador	0.2 mgon
Sensibilidad del nivel esférico	6'/2 mm
Resolución del nivel electrónico	2"
Precisión en la medición de ángulos	
Tipo Desv. Típ. Hz, V, ISO 17123-3	0.6 mgon
Unidad Mínima visualizada	0.1 mgon
Precisión referida a mediciones a prismas estándar	1 mm + 1.5 ppm

Tabla 7: Características Técnicas de la estación total Leica TPS 1202+.



## 6.2.1 DESVIACIONES TÍPICAS

Determinaremos la incertidumbre en la posición de un punto radiado, con los siguientes datos, para hacernos una idea de la precisión a priori que podemos obtener:

Aparato electrónico	10	cc	vertical		
Sensibilidad nivel	60	cc	95	g	1,4922565
Aumentos	30	A			

Distancia de radiación	40	m			
Distanciómetro	0,001	m	+	1,5	ppm
Precisión nivel prisma	20	c	0,3141592654		

Altura prisma		0	m	rcc	636620
K ref		0,13		rc	6366,1977
σe	σs	0,003	m	Radio tierra	6373000

Desviación típica a priori en la medida de ángulos

Ángulos acimutales			
Verticalidad	$\sigma_v$	5	cc
Lectura	$\sigma_l$	10	cc
Puntería	$\sigma_P$	9	cc
Dirección	$\sigma_d$	68	cc
Jalón	$\sigma_j$	0	cc

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_v^2 + \sigma_p^2 + \sigma_l^2 + \sigma_d^2 + \sigma_j^2}$$

$\sigma_a$  69 mm

Ángulos cenitales			
Verticalidad	$\sigma_v$	5	cc
Lectura	$\sigma_l$	10	cc
Puntería	$\sigma_P$	9	cc

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_v^2 + \sigma_p^2 + \sigma_l^2}$$

$\sigma_a$  14 mm

Desviación típica a priori en la medida de la distancia

a		1	mm
b		1,5	ppm
Est	$\sigma_e$	3	mm
Señal	$\sigma_s$	3	mm
Jalón	$\sigma_j$	0	cc

$$\sigma_D = \sqrt{(a + bD_{km})^2 + \sigma_e^2 + \sigma_s^2 + \sigma_j^2}$$

$\sigma_D$  4 mm

Desviación típica a priori en la determinación del desnivel

Distancia	$\sigma_D$	0,343	mm
verticales	$\sigma_v$	1	mm
Instrumento	$\sigma_i$	5	mm

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_{rn}^2 + \sigma_{rv}^2}$$

$\sigma_t$  1 mm

Mira	$\sigma_m$	5	mm	$\sigma_{\Delta H}$	7 mm
Cer	$\sigma_{Cer}$	0	mm		
Error transversal		6	mm	$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_i^2 + \sigma_m^2 + \sigma_r^2}$	
Error Longitudinal		4	mm		
Incertidumbre planimétrica		10	mm		
Incertidumbre altimétrica		20	mm		
Error máximo planimétrico en la radiación		12	mm	$\sigma_P = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_R^2}$	$\sigma_H = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_{\Delta H}^2}$
Error máximo altimétrico en la radiación		21	mm		

Tabla 8: Cálculo de las desviaciones típicas a priori.

EL cálculo se ha realizado en una hoja de cálculo *DESVIACIONES\_TIPICAS.xlsx* adjunta en el CD.

## 7. PLAN DE VUELO

### 7.1 PROYECTO DE VUELO

PHANTOM 4			
	Ancho	Alto	
Tamaño sensor	4000	3000	<i>Píxeles</i>
	6,17	4,55	<i>Milímetros</i>
Círculo de confusión	0,015		<i>Milímetros</i>
Tamaño píxel imagen	1,543	1,517	<i>Micras</i>
Semi Diagonal	3,833		<i>Milímetros</i>
	2500		<i>Píxeles</i>
Distancia focal	3,51		<i>Milímetros</i>
	2276		<i>Píxeles</i>
Alejamiento	5		<i>Metros</i>
Diafragma	2,8		<i>Fijo</i>
Hiperfocal	0,30		<i>Metros</i>
Distancia cercana y lejana	0,28	Infinito	<i>Metros</i>

*LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA)  
Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)*

Fotobase	1,234		Milímetros
Tamaño píxel objeto	2,197		Milímetros
Tamaño sensor objeto	8,789	6,481	Metros
Relación Base/Alejamiento	1 /	2,8	
Error altimétrico	0,0044		Metros
Error planimétrico	0,0022		Metros
Recubrimiento total	7,031	3,889	Metros
Distancia avance	1,758		Metros
Separación pasadas	2,593		Metros
Dimensiones del objeto	31,00	9,00	Metros
Número de pasadas	8		Pasadas
Número de fotos/pasada	14		Fotos
Denominador de Escala	1425		Adimensional
Recubrimiento Longitudinal	80		Porcentaje
Recubrimiento Transversal	60		Porcentaje

*Tabla 9: Cálculo del plan de vuelo.*

EL cálculo se ha realizado en una hoja de cálculo *POYECTO\_DE\_VUELO.xlsx* adjunta en el CD.

## BLOQUE II

# TOMA DE DATOS

## 8. LEVANTAMIENTO

### 8.1 INSTRUMENTOS

Para el levantamiento en campo se utilizaron los siguientes útiles de topografía.

Instrumento auxiliar	Datos técnicos
	Jalón telescópico de aluminio con mango antideslizante, graduación en cm, longitud mínima de 139 cm y máxima de 200 cm. Peso 950 gr.
	Maleta de transporte
	Prisma Circular con soporte de acero y señal de puntería, rosca 5/8".
	Chaleco reflectante homologado en toda España.
	Cinta métrica retráctil de 5 m
	Trípode telescópico de madera, altura de 84 cm – 134 cm

Tabla 10: Útiles de topografía.

## 8.2 BASES

Siguiendo la forma rectangular de la ermita se procedió a seleccionar cuatro estacionamientos, dos en la parte frontal sobre una zona ajardinada y dos sobre la parte trasera sobre una extensión de pasto, de esta manera se consiguió abarcar desde todos los ángulos la totalidad de esta.

Para el levantamiento y radiación de la poligonal y los puntos de apoyo se utilizaron dos estaciones totales Leica TPS 1202 en el que se siguió el siguiente proceso:

Se estaciono inicialmente en las estaciones 1000 y 2000, se fijaron una referencia y se visó a la lente del objetivo, donde se puso unas marcas con unas pegatinas, desde una a la otra y viceversa, tomando como datos en Círculo directo: Horizontal y Vertical, para la Distancia se puso el prisma encima de la estación, realizando una observación en excéntrica.

Posteriormente se aplicó la regla de Bessel para eliminar los posibles errores sistemáticos que pudieran haber y se tomaron los datos en círculo inverso: Horizontal, Vertical y Distancia.

Se levantó la estación 2000 dejando como fija la 1000 y se repitió el proceso de visar a la lente del objetivo y hacer la regla de Bessel.

Finalmente se levantó la estación 1000 y se estacionó en la 4000, dejando fija la estación 3000.

Con esta metodología se consiguió una poligonal precisa y que abarcaba el completo de la Ermita.

## 8.3 PUNTOS DE CONTROL MAYOR

Se situaron en campo 12 dianas puestas previamente a la toma fotográfica sobre el terreno, 6 en la parte delantera y 6 en la parte trasera de la Ermita, se realizó la medición mediante intersecciones directas.

## 8.4 PUNTOS DE CONTROL MENOR

Se realizaron mediciones sin prisma a elementos representativos de la ermita como bordes o esquinas, mediante intersecciones directas y se radio elementos representativos del terreno.

## 9. TOMA DE FOTOGRAFÍAS

Antes de la toma de fotografías se deberá tener en cuenta las condiciones que serán necesarias para una posterior reconstrucción del objeto:

Tomar un número suficientemente elevado de fotografías: Esto dependerá del tamaño y dimensiones del objeto de la dificultad y forma del objeto, como la profundidad o si tiene muchos ángulos y recovecos. Al aumentar el número de fotografías también aumentará el espacio requerido para el almacenamiento de estas, en nuestro caso se tomaron 662 imágenes con una cámara de 12 megapíxeles con una media de 5 megas cada uno, nos dio un total de 3,32 GB.

EL elemento a representar ha de estar contenido en 3 fotos como mínimo en cada una de sus caras, ya que cuanto más haces intersequen en una posición espacial, mayor precisión se obtendrán en el ajuste.

La convergencia entre fotogramas tomados desde distintas posiciones debe tener valores buenos de 60 ° u óptimos de 90 ° para mayor precisión del ajuste.

El solape entre fotogramas debe ser de al menos del 60 %.

Las tomas deben realizarse de forma que el elemento a fotografiar cubra la mayor parte de la superficie del fotograma, si el resto de parámetros así lo permite.

La relación entre la base y el alejamiento, debería estar entre 1/5 y 1/10 (aconsejable).

Los parámetros que se utilicen en la toma deberán ser los mismos que en la posterior calibración.

Contar con luz natural o buena iluminación, esto es bastante importante para poder apreciar después los objetos con nitidez y sin sombras, en nuestro caso se eligió un día nublado en el que la iluminación se mantuvo estable a lo largo de la toma de fotos.

Evitar en todo lo posible los deslumbramientos, ya que al capturar los objetos desde distintos ángulos es posible que en algunos de ellos se produzcan deslumbramientos por estar a contraluz. Es una situación que debe evitarse para que posteriormente no se produzcan posiciones erróneas a la hora de interpretar las imágenes para reconstruir el modelo en tres dimensiones.

Evitar los objetos simples, lisos o sin textura, ya que puede suceder que no se encuentren, suficientes elementos con los que relacionar las fotografías, esto conlleva que el modelo no se genere bien, también hay que evitar en todo lo posible, simetrías o elementos que sean iguales como columnas o arcos. Por ejemplo con cascos se da este caso.

Los objetos brillantes o con reflejos no son aconsejables ya que se puede provocar que el objeto se vea diferente dependiendo de la posición que ocupe el observador, y por consiguiente no sería posible comparar las fotografías. Un claro ejemplo sería objetos de plástico o metal.

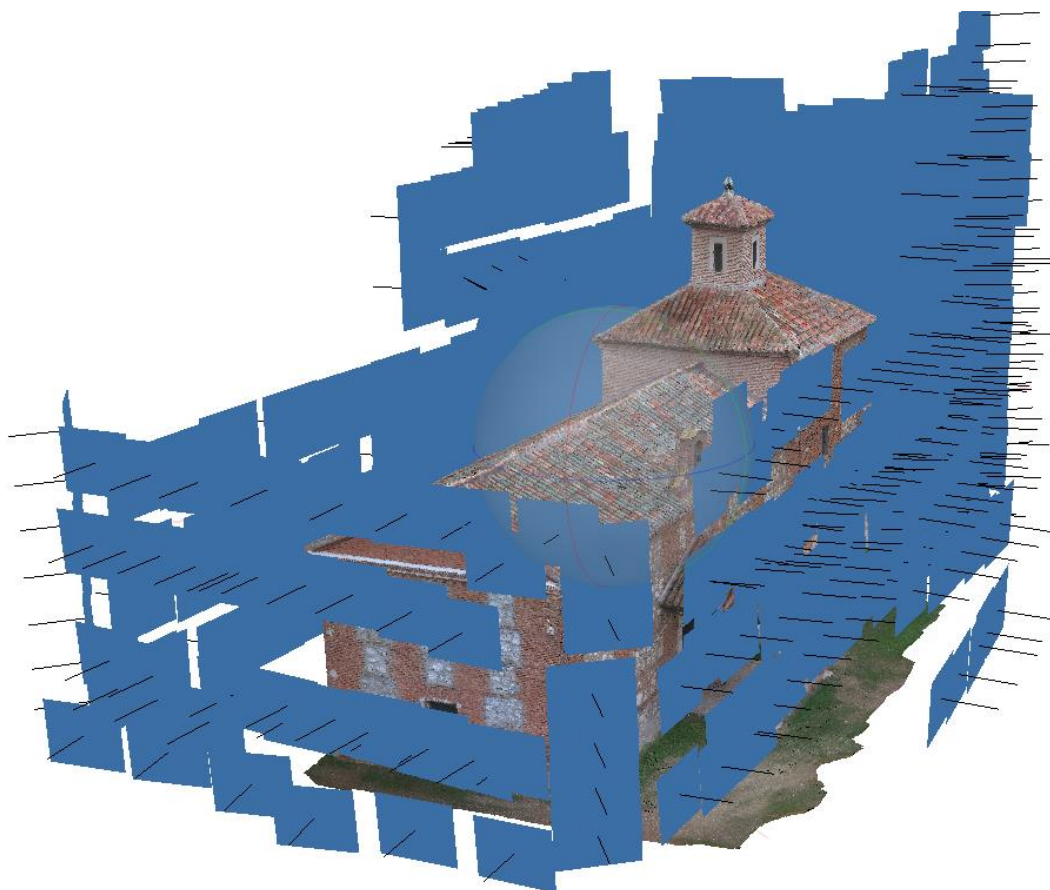
### 9.1 TOMA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Se ha realizado un vuelo horizontal, en el que se ha cogido mucho más terreno que el que ocupa la ermita.

## 9.2 TOMA DE FOTOGRAFÍAS TERRESTRE

Utilizaremos la fotogrametría convergente para realizar la reconstrucción de la Iglesia. Esta técnica es una de las más adecuadas para acometer la documentación, restauración y rehabilitación del patrimonio, porque con pocos medios se podrán obtener modelos tridimensionales de gran precisión.

Se realizaron 4 vuelos perpendiculares a cada una de las fachadas, llamando a cada uno de los bloques, *FRONTAL*, *TRASERA*, *LATERAL DERECHO*, *LATERAL IZQUIERDO*.



*Ilustración 13: Posiciones de las cámaras.*

Se realizó un vuelo perpendicular al porche llamándolo *PORCHE*.

En cada una de las esquinas se realizó un vuelo perpendicular a ella y en ángulo con las fachadas, llamando a los bloques de imágenes *D1*, *D2*, *D3*, *D4*.

Finalmente se realizó un vuelo sobre elementos como la torre y la cruz que existe sobre el pórtico de la iglesia llamándolos *TORRE* Y *CAMPANARIO* respectivamente.



## BLOQUE III

# CÁLCULOS

## 11. CÁLCULOS

El siguiente apartado y subapartados, se corresponden con los cálculos de la poligonal, la intersección directa, el cálculo de la altimetría y la radiación, para aligerar la memoria un número excesivo de tablas se han incluido únicamente los resultados y las precisiones, pueden encontrar los cálculos manuales realizados con el programa Excel en los anexos y en el CD adjunto a la memoria.

### 11.1 POLIGONAL

Se ha calculado la poligonal (véase los anexos) con los siguientes resultados:

Numero	ESTE	NORTE	H
2000	2000.000	2000.000	600.000
1000	1999.272	1962.288	600.271
3000	2036.569	1960.452	600.360
4000	2039.721	1995.184	599.773

Tabla 11: Coordenadas de la poligonal.

Con un error de cierre en coordenadas (m) de:

AE	AN	AH
-0.009	0.002	0.020

Tabla 12: Error de cierre de la poligonal.

Se han compensado en función de la distancia y se ha visto que son tolerables, recordemos que en el cálculo de la precisión a priori el error máximo en planimetría era de 12 mm y en altimetría de 21 mm.

### 11.2 INTERSECCIÓN DIRECTA SIMPLE

Se ha procedido al cálculo de la planimetría y la altimetría manualmente, véase en los anexos.

#### 11.2.1 CÁLCULO DE LA PLANIMETRÍA

Partimos de 4 Ecuaciones que consisten en las visuales desde cada uno de los puntos fijos al punto P desconocido y las visuales entre ellas.

$$\overline{AP} \rightarrow \begin{cases} LH_A^P \\ LH_A^B \end{cases} \rightarrow \theta_A^P \qquad \overline{BP} \rightarrow \begin{cases} LH_B^P \\ LH_B^A \end{cases} \rightarrow \theta_B^P$$

Partimos de 4 Incógnitas, las coordenadas del punto no fijo  $E_P$ ,  $N_P$  y las desorientaciones entre los puntos fijos.

$$\begin{aligned} \theta_A^P &= LH_A^P + \varepsilon_A & \varepsilon_A &= \theta_A^B - LH_A^B \\ \theta_B^P &= LH_B^P + \varepsilon_B & \varepsilon_B &= \theta_B^A - LH_B^A \end{aligned}$$

Conociendo la relación:

$$\theta = ATAN \frac{\Delta E}{\Delta N}$$

$$TAN \theta = \frac{\Delta E}{\Delta N}$$

Sustituimos y despejamos.

$$TAN \theta_A^P = \frac{E_P - E_A}{N_P - N_A}$$

$$TAN \theta_B^P = \frac{E_P - E_B}{N_P - N_B}$$

$$E_P = TAN \theta_A^P (N_P - N_A) + E_A$$

$$E_P = TAN \theta_B^P (N_P - N_B) + E_B$$

Una vez calculadas el Este, calculamos el Norte:

$$TAN \theta_A^P N_P - TAN \theta_A^P N_A + E_A = TAN \theta_B^P N_P - TAN \theta_B^P N_B + E_B$$

Llegando finalmente a la ecuación siguiente:

$$N_P = \frac{TAN \theta_A^P N_A - TAN \theta_B^P N_B + E_B - E_A}{TAN \theta_A^P - TAN \theta_B^P}$$

Se puede calcular por diferencias de lecturas o por diferencia de azimuts:

$$\hat{A} = LH_A^B - LH_A^P \text{ o } \hat{A} = \theta_A^B - \theta_A^P$$

$$\hat{B} = LH_B^P - LH_B^A$$

Calculamos la distancia.

$$D_A^B = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$$

$$\frac{D_A^B}{\sin \alpha} = \frac{D_A^P}{\sin \hat{B}}$$

$$D_A^P = D_A^B \frac{\sin \hat{B}}{\sin \alpha} = D_A^B \frac{\sin \hat{B}}{\sin (\hat{A} + \hat{B})}$$

Finalmente calculamos las coordenadas del punto desconocido desde uno de los puntos fijos.

$$E_P = E_A + D_A^P \sin \theta_A^P$$

$$N_P = N_A + D_A^P \cos \theta_A^P$$

Siguiendo la metodología desarrollada anteriormente se han calculado las coordenadas aproximadas de todos los puntos y los azimuts, posteriormente se han calculado las matrices por mínimos cuadrados llegando a los siguientes resultados.

1	Este	2013,870	±	0,002	m
	Norte	1963,512	±	0,001	m
2	Este	2004,685	±	0,002	m
	Norte	1964,185	±	0,002	m
3	Este	2014,980	±	0,002	m
	Norte	1977,574	±	0,002	m
4	Este	2005,702	±	0,001	m
	Norte	1978,704	±	0,004	m
5	Este	2014,152	±	0,002	m
	Norte	1989,221	±	0,002	m
6	Este	2007,287	±	0,002	m
	Norte	1997,710	±	0,002	m
51	Este	2014,509	±	0,002	m
	Norte	1963,072	±	0,001	m
52	Este	2014,938	±	0,002	m
	Norte	1967,249	±	0,001	m
53	Este	2015,612	±	0,002	m
	Norte	1975,561	±	0,002	m
54	Este	2017,756	±	0,002	m
	Norte	1994,368	±	0,001	m
55	Este	2019,383	±	0,002	m
	Norte	1972,342	±	0,002	m
56	Este	2012,979	±	0,001	m
	Norte	1982,823	±	0,002	m
	Este	2013,416	±	0,001	m

57	Norte	1987,707	±	0,002	m
58	Este	2022,663	±	0,002	m
	Norte	1962,233	±	0,001	m
59	Este	2023,076	±	0,002	m
	Norte	1966,389	±	0,001	m
60	Este	2024,002	±	0,001	m
	Norte	1974,668	±	0,002	m
61	Este	2025,688	±	0,002	m
	Norte	1993,578	±	0,001	m
62	Este	2018,640	±	0,002	m
	Norte	1968,348	±	0,001	m
11	Este	2031,309	±	0,002	m
	Norte	1960,738	±	0,001	m
15	Este	2026,748	±	0,002	m
	Norte	1992,656	±	0,001	m

Tabla 13: Coordenadas planimetrías de los puntos de apoyo.

Con una desviación típica a posteriori de 0.2, véase los cálculos en los anexos.

### 11.2.2 ALTIMETRÍA

Se han eliminado los puntos que no eran tolerables como por ejemplo el punto 5, 11, 12 ,58 y 62 véase los cálculos en los anexos.

PUNTO	COTA			
1	600.442	±	0.007	m
2	600.341	±	0.004	m
3	600.333	±	0.004	m
4	600.198	±	0.005	m
6	600.222	±	0.006	m
51	604.293	±	0.004	m
52	609.142	±	0.003	m

53	609.150	±	0.000	m
54	606.344	±	0.006	m
55	615.923	±	0.006	m
56	603.756	±	0.006	m
57	603.763	±	0.005	m
59	609.112	±	0.001	m
60	609.154	±	0.008	m
61	606.246	±	0.006	m

Tabla 14: Coordenadas altimétricas de los puntos de apoyo.

### 11.3 RADIACIÓN

Se ha procedido al cálculo de los puntos radiados manualmente, véase en los anexos.

Punto	Este	Norte	Altitud
201	1990.384	1965.554	600.688
202	1995.808	2002.053	601.355
203	2013.358	1999.861	599.594
204	2028.305	2034.509	599.871
205	2010.186	2049.302	598.084
206	1990.995	2040.580	596.501
207	1975.690	1954.806	599.842
208	1984.038	1923.228	602.230
12	2023.791	1962.471	600.734
11	1994.618	1960.744	601.409
13	1997.045	1976.205	597.897
15	1990.219	1992.516	598.415
209	2032.598	1997.505	600.713
210	2045.241	2035.018	598.164
211	2022.959	2035.684	598.332
212	2006.666	2045.389	598.071
14	2025.434	1980.900	599.709
16	2033.057	1997.017	599.769

Tabla 15: Coordenadas de los puntos radiados.

## BLOQUE IV

# MODELADO 3D

## 12. AGISOFT PHOTOSCAN

Agisoft PhotoScan es un software comercial de escritorio creado por la empresa rusa Agisoft LLC, situada en San Petersburgo, se trata de una herramienta profesional que genera modelos y datos espaciales en 3D a partir del procesamiento fotogramétrico de imágenes, para ello emplea algoritmos de structure from motion (SFM) y algoritmos Multi-View Stereo (MVS). Opera con imágenes arbitrarias convergentes y es eficiente tanto en condiciones controladas como no controladas. Las fotos se pueden tomar desde cualquier posición, siempre que el objeto a reconstruir sea visible en al menos dos fotogramas. Tanto la alineación de la imagen como la reconstrucción del modelo están totalmente automatizadas y permite generar nubes densas de puntos y modelos 3D con textura fotorrealista.

Tiene dos versiones, una estándar y otra profesional, la primera nos permite realizar el flujo de trabajo básico desde la importación de nubes de puntos a la generación del modelo digital, la versión profesional que es la que se ha utilizado en este proyecto además nos permite georeferenciar y exportar los DEM, medir sobre el modelo distancias, áreas y volúmenes, añadir puntos de control, clasificación de nubes de puntos y otras opciones bastante interesantes.

El programa nos permite descargarnos una versión de prueba con licencia de 1 mes del tipo que elijamos, por la duración de este proyecto ha sido necesario la descargas de varias licencias así como el uso de la versión educativa instalada en la universidad. El precio de las versiones de pago son de 159 € para la estándar y 3106 € para la profesional.

Este programa puede ser utilizado en numerosas aplicaciones como la realización de estudios SIG, la documentación del patrimonio cultural, y la producción de efectos visuales o modelos renderizados, así como para mediciones indirectas de objetos de diferentes escalas.

### 12.1 REQUISITOS DEL SISTEMA

Los requisitos del programa son los que nos proporcionan en su página web

<http://www.agisoft.com/downloads/system-requirements/> para la versión Agisoft PhotoScan 1.3.2 que se ha traducido para una mejor comprensión:

**Memoria de acceso aleatorio o RAM (Random Access Memory):** En la mayoría de los casos, el tamaño máximo de proyecto que puede procesarse está limitado por la cantidad de RAM disponible. Se recomienda la más alta que permita el sistema.

**Unidad central de proceso o CPU (Central Processing Unit):** Los complejos algoritmos de reconstrucción de la geometría necesitan una gran cantidad de recursos computacionales para su procesamiento. Se recomienda una CPU de núcleos múltiples de alta velocidad (3 GHz +).

**Unidad de procesamiento gráfico o GPU (Graphics Processor Unit):** Agisoft PhotoScan es compatible con la aceleración de GPU para la comparación de imágenes y generación de nube densa, de modo que una gama alta OpenCL o tarjeta gráfica compatible con CUDA (Arquitectura Unificada de Dispositivos de Cómputo) puede acelerar el proceso.



## 12.2 REQUISITOS DE MEMORIA

La etapa de Construir la geometría del modelo (Generación de nube de puntos densa y malla) es lo que más memoria requiere, especialmente si el modelo se construye en la calidad media o alta, por lo que se debe tener especialmente en cuenta.

El consumo de memoria durante la orientación de las fotos suele ser menor, pero puede ser comparable o incluso superar la cantidad de memoria requerida para la construcción de modelos en el modo de nube de puntos en calidad baja.

### Orientación de las fotos

El consumo de memoria durante la orientación fotográfica depende principalmente del número de fotos que se están orientando y prácticamente no depende de la resolución de las fotos individuales.

Fotos	100	200	500	1000	2000	5000	10000
Consumo de memoria	500 MB	1 GB	2.5 GB	5 GB	10 GB	25 GB	50 GB

Tabla 16: Consumo de memoria de durante la orientación con el programa Agisoft PhotoScan.

### Construir el modelo con altura de campo (height-field model)

El consumo de memoria en el modo altura de campo (height-field) depende del número de fotos, la resolución, la calidad seleccionada y el recubrimiento. La relación entre el número de fotos y su resolución es aproximadamente lineal.

En la siguiente tabla podemos observar el consumo de memoria aproximado para una foto de 12 megapíxeles.

Fotos	100	200	500	1000	2000	5000	10000
Lowest quality	25 MB	50 MB	125 MB	250 MB	500 MB	1.25 GB	2.5 GB
Low quality	100 MB	200 MB	500 MB	1 GB	2 GB	5 GB	10 GB
Medium quality	400 MB	800 MB	2 GB	4 GB	8 GB	20 GB	40 GB
High quality	1.6 GB	3.2 GB	8 GB	16 GB	32 GB	80 GB	160 GB
Ultra high quality	6.4 GB	12.8 GB	32 GB	64 GB	128 GB	320 GB	640 GB

Tabla 17: Consumo de memoria de durante la generación de puntos densa en el modo altura de campo con el programa Agisoft PhotoScan.

### Construir modelo (modo arbitrario)

El modo de procesamiento arbitrario está diseñado para procesar objetos compactos, capturados principalmente desde el nivel del suelo. Se puede utilizar para procesar conjuntos de datos que contienen hasta varios cientos de fotos, pero normalmente mucho menos. El consumo de memoria dependerá del número de fotos, su resolución y superposición, el nivel de calidad seleccionado y también la forma del objeto.

En la siguiente tabla podemos observar el consumo de memoria aproximado para una foto de 12 megapíxeles.

Fotos	20-50	100	200	500
Lowest quality	100 MB - 300 MB	150 MB - 450 MB	300 MB - 1 G	1 GB - 3 GB
Low quality	500 MB - 1.5 GB	750 MB - 2.2 GB	1.5 GB - 4.5 GB	4 GB - 12 GB
Medium quality	2 GB - 6 GB	3 GB - 9 GB	6 GB - 18 GB	15 GB - 45 GB
High quality	8 GB - 24 GB	12 GB - 36 GB	24 GB - 72 GB	60 GB - 180 GB
Ultra high quality	32 GB - 96 GB	48 GB - 144 GB	96 GB - 288 GB	240 GB - 720 GB

Tabla 18: Consumo de memoria de durante la generación de puntos densa con el programa Agisoft PhotoScan.

El consumo de memoria depende significativamente del tipo de objeto que se está procesando.

### Malla

La cantidad de memoria requerida para la malla depende únicamente del número de polígonos inicial.

Caras (millones)	1	5	10	20	50	100	200	500
Consumo de memoria	128 MB	640 MB	1.3 GB	2.5 GB	6.2 GB	12.5 GB	25 GB	63 GB

Tabla 19: Consumo de memoria de durante la generación de la malla con el programa Agisoft PhotoScan.

## 12.3 REQUISITOS DE HARDWARE

La configuración básica de hasta 32 GB de RAM

- CPU: CPU Cuatro núcleos Intel Core i7, Socket LGA 1150 o 1155.
- Placa base: Cualquier modelo LGA 1150 o 1155 con 4 ranuras DDR3 y al menos 1 ranura PCI Express x16.
- RAM: DDR3-1600, 4 x 4 GB (16 GB en total) o 4 x 8 GB (32 GB en total).
- GPU: Tarjeta gráfica Nvidia GeForce GTX 980 o GTX GeForce 1080 (opcional).

La configuración Avanzada de hasta 64 GB de RAM

- CPU: CPU Octa-núcleo o seis núcleos Intel Core i7, Socket LGA 2011-v3 o 2011.
- Placa base: Cualquier LGA 2011 o 2011-v3 modelo con 8 DDR4 o DDR3 ranuras y al menos 1 ranura PCI Express x16.
- RAM: DDR4-2133 o DDR3-1600, 8 x 4 GB (32 GB en total) o 8 x 8 GB (64 GB en total).
- GPU: Tarjeta gráfica Nvidia GeForce GTX 980 Ti, GeForce GTX 1080 o GeForce TITAN X.

Configuración Extrema de más de 64 GB de RAM

- Para el procesamiento de datos extremadamente grandes un doble procesador Intel Xeon sería recomendable.

## 13. FOTOGRAFÍAS

Durante el trabajo de campo con el Phantom 4 se realizó la toma del siguiente número de fotografías:

ZONA	NÚMERO FOTOS	FOTO INICIO	FOTO FINAL	TAMAÑO
FRONTAL	135	DJI_0276	DJI_0410	691 MB
TRASERA	100	DJI_0465	DJI_0564	519 MB
LATERAL DERECHO	54	DJI_0411	DJI_0464	280 MB
LATERAL IZQUIERDO	41	DJI_0565	DJI_0605	213 MB
DIAGONAL 1	6	DJI_0606	DJI_0611	32.0 MB
DIAGONAL 2	13	DJI_0641	DJI_0653	65.8 MB
DIAGONAL 3	12	DJI_0654	DJI_0665	62.6 MB
DIAGONAL 4	7	DJI_0666	DJI_0672	36.8 MB
TORRE	10	DJI_0631	DJI_0640	50.7 MB
PORCHE	15	DJI_0612	DJI_0626	78.7 MB
CAMPANARIO	4	DJI_0627	DJI_0630	19.6 MB
AEREO	265	DJI_0011	DJI_0275	1.32 GB
	662	DJI_0011	DJI_0672	3.32 GB

*Tabla 20: Bloques de toma de fotografías.*

Exceptuando el conjunto de fotografías que conforma AÉREO que se trata de tomas horizontales a mayor altura, el resto de los diferentes conjuntos de fotografías se trata de tomas verticales.

## 13.1 EXIF

EXIF (Exchangeable image file format) es un estándar creado para almacenar metadatos de las fotos hechas con cámaras digitales, lo que significa que los datos EXIF contienen información relativa a la propia imagen y a cómo ha sido tomada.

Examinando el EXIF de una de las imágenes podemos observar un ejemplo de los metadatos que se pueden encontrar, los metadatos completos los podemos encontrar en los anexos.

Imagen		Cámara	
Id. de imagen		Fabricante de la cámara	DJI
Dimensiones	4000 x 3000	Modelo de cámara	FC330
Ancho	4000 píxeles	Punto F	f/2.8
Alto	3000 píxeles	Tiempo de exposición	1/134 s
Resolución horizontal	72 ppp	Velocidad ISO	ISO-100
Resolución vertical	72 ppp	Compensación de exposición	0 paso
Profundidad en bits		Distancia focal	4 mm
Compresión		Apertura máxima	2.97
Unidad de resolución	2	Modo de medición	Promedio
Representación del color	sRGB	Distancia al objeto	0 mm
Bits comprimidos/píxel	3,436662666666660	Modo de flash	sin función de flash
		intensidad de flash	
		Longitud focal de 35mm	20

Tabla 21: EXIF de ejemplo obtenido de una fotografía.

## 14. ALGORITMOS BASADOS EN ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)

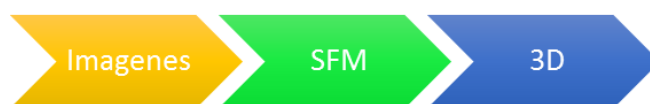
Las técnicas de Estructura a partir de movimiento (Structure From Motion o SFM) son aquellas que realizan una reconstrucción en tres dimensiones de un escenario a partir de un conjunto de fotografías.

Si se dispone de información del objeto desde todas las perspectivas de tal manera que se puedan apreciar todas sus características, y además se tiene cómo relacionar esa información entre sí, se podrá reconstruir el objeto de forma aproximada.

El software Agisoft PhotoScan que será empleado posteriormente en el trabajo utiliza este tipo de técnicas aunque posee más funcionalidad que la puramente SFM.

### 14.1 FUNCIONAMIENTO

Conociendo el sistema que emplea las técnicas de Structure From Motion, se parte de un conjunto de fotografías que se cargan en un programa, siendo cada programa diferente con algoritmos propios como Agisoft PhotoScan pero similares en la base, estos programas internamente calculan y procesan las imágenes y finalmente nos devuelven un modelo en 3 dimensiones del objeto fotografiado.



*Ilustración 14: Esquema proceso SFM.*

A diferencia de otros métodos, en los que se hace necesario conocer datos sobre la posición de captura de las cámaras, en los algoritmos de este tipo se parte de fotografías estándar, en las que no se tiene conocimiento de antemano de la posición de la cámara y la distancia al objeto en el momento de la captura. En este caso diríamos que la cámara no está calibrada o no tiene ajustados los parámetros internos. Hará falta iniciar un proceso que calcule a partir de la imagen capturada esta información faltante. Este proceso se denomina calibración de la cámara, aparte de conocer la posición, es conveniente disponer de datos que sirvan para corregir las imperfecciones en la captura como la distorsión de la lente.

En las imágenes digitales actuales es posible obtener estos datos, necesarios para una calibración aproximada, es el caso del EXIF descrito anteriormente, cuando se da esta situación los algoritmos internos median entre las diferentes imágenes, toman de los metadatos información como es la altura de vuelo o la focal, dándonos unos muy buenos resultados sin necesidad de realizar una calibración de la cámara. Cuantas más imágenes dispongamos más precisa será esta calibración interna.

Cada imagen dará una perspectiva del objeto diferente, por lo que habrá que buscar características reconocibles desde diferentes perspectivas. Éstos son los denominados puntos singulares. Existen diferentes técnicas para ello, en las que a cada punto singular se le asocia una serie de características que no dependen del lugar de la fotografía. La técnica más conocida la conocida como Scale-Invariant

Feature Transform (SIFT).

Las características de este algoritmo obtenidas en cada punto singular serán un conjunto de valores que no dependen de la escala (Scale-Invariant) ni de la orientación, para así poder identificar los puntos homólogos en diferentes fotografías tomadas desde perspectivas distintas.

Por cada imagen, se obtendrá un listado de puntos singulares, llamados así por tener características reconocibles. Cada punto singular tendrá las características extraídas del SIFT.

Una vez se tienen las características de los puntos singulares de cada una de las fotografías, habrá que compararlas con las del resto de ellas. Observando los valores de diferentes puntos singulares en diferentes fotografías, si se encuentran dos con características extraídas con el algoritmo SIFT que los haga candidatos a tratarse del mismo lugar físico, cada uno en una imagen diferente, se puede considerar (en principio) que estos dos puntos podrían representar una misma posición física en la escena de captura.

Con la información correspondiente a muchos puntos singulares se puede obtener también la localización angular de la cámara con respecto a la escena. Ya se tiene por tanto una estimación de la posición física de la cámara. Por triangulación, si un mismo punto es visto desde diferentes perspectivas espaciales, se puede aproximar su ubicación en un espacio tridimensional.

Se tiene más información de la necesaria para resolver el sistema matemático. Este problema se abordará por ejemplo por mínimos cuadrados. Como resultado, se tendrá la localización en el espacio tridimensional de ese punto.

Con todos los puntos posibles ubicados en el volumen, se construye una nube de puntos que representa al objeto fotografiado. Ésta nube es, por tanto, la reconstrucción SFM del objeto.

Finalmente después del proceso de triangulación se tendrá un modelo tridimensional reconstruido del objeto fotografiado.

## 15. MATCHING

El término *matching* o técnicas de correlación automática de imágenes digitales consiste en el establecimiento automático de correspondencia o correlación entre elementos extraídos de dos o más imágenes digitales (generalmente más) con un recubrimiento común que ya puede ser longitudinal o transversal (normalmente del 60 % y 40 % respectivamente).

En Fotogrametría los diferentes procesos que se consideran como un *matching* son:

- Orientación interna en el que la imagen de una marca fiducial se correlaciona con un modelo bidimensional teórico de la fiducial.
- Orientación relativa y la transferencia de puntos en aerotriangulación que consiste en la identificación de puntos homólogos en los fotogramas que forman el modelo.
- Orientación absoluta que consiste en identificar en el modelo puntos con coordenadas conocidas. Estos puntos son los denominados puntos de apoyo.
- La generación de modelos digitales de elevaciones o modelos digitales del terreno, que mediante identificación de puntos homólogos una vez orientado el par, pretende la obtención de la información tridimensional derivada del modelo estereoscópico;
- El reconocimiento de formas y objetos.

## 16. INTERPOLACIÓN

Los algoritmos de interpolación de píxel son cruciales para los procesos que incluyen transformaciones geométricas.

El problema de interpolar píxeles es bastante sencillo conceptualmente. Una imagen digital es una representación discreta formada por muestras uniformemente distribuidas en una rejilla rectangular. Cada muestra (o conjunto de muestras en imágenes multicanal o en color) es lo que identificamos como un píxel. Una interpolación de píxel es necesaria para obtener nuevos valores de píxel en coordenadas arbitrarias, no necesariamente enteras.

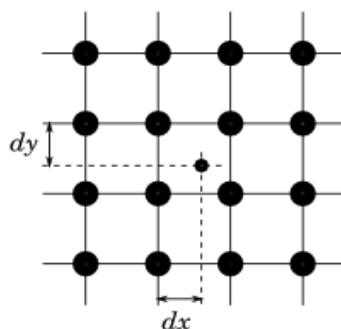


Ilustración 15: Representación de Píxeles.

En esta figura los círculos grandes representan píxeles existentes. Se desea calcular un nuevo valor de píxel en la posición representada por el punto pequeño, definida por las distancias  $dx$  y  $dy$ , medidas desde el píxel más cercano truncando coordenadas. Este problema se presenta en una gran variedad de transformaciones geométricas; por ejemplo, para redimensionar una imagen aplicando factores de escala arbitrarios, es necesario obtener nuevos valores de píxel de esta forma a partir de los datos existentes.

El programa Agisoft PhotoScan nos da a elegir entre las siguientes opciones:

**Vecino Más Próximo (Nearest Neighbor):** Este algoritmo de interpolación es el más simple posible. La interpolación vecino más próximo selecciona el valor del píxel más cercano redondeando las coordenadas del punto de interpolación deseado.

**Bilineal (Bilinear):** Este método de interpolación es ligeramente más sofisticado que el anterior. El algoritmo bilineal interpola a partir de los cuatro píxeles originales que rodean al punto deseado de interpolación. Se construyen y evalúan dos funciones lineales de interpolación, una para cada dirección del plano.

**Spline Bicúbico (Bicubic Spline):** Se trata de un algoritmo de interpolación de píxel de altas prestaciones, que proporciona resultados excelentes tanto en lo relativo a velocidad de ejecución como en calidad de los resultados. Normalmente es la mejor opción para todo tipo de transformaciones geométricas que no involucren reducciones de tamaño muy radicales.

## 17. CÁLCULOS AGISOFT PHOTOSCAN

Como en todo proceso fotogramétrico y en especial para procesar un proyecto debidamente en Agisoft Photoscan se debe seguir un flujo de trabajo escalonado y por partes.

1. **Cargar nuestras imágenes** en diferentes carpetas debidamente ordenadas, es posible cargar todas las imágenes también en un mismo bloque.
2. **Orientar imágenes**, calculando la orientación interna y una nube de puntos 3D dispersa con correspondencia entre imágenes.
3. **Asignar marcadores**, se puede importar y asignar unos marcadores para poder calcular la orientación externa de nuestro levantamiento.
4. **Crear nube de puntos densa** del objeto 3D.
5. **Crear la malla**.
6. **Crear la textura** de la malla calculada con resoluciones óptimas y corrección de color opcional.
7. **Crear un modelo digital de elevaciones DEM o MDT** dependiendo de si se realiza una clasificación de los puntos pertenecientes a la nube densa.
8. **Crear el ortomosaico u ortofoto** en coordenadas proyectadas.

### 17.1 ORIENTACIÓN

```
# Loading images
image_list = os.listdir(path_photos)
photo_list = list()
for photo in image_list:
    if ("jpg" or "jpeg" or "JPG" or "JPEG") in photo.lower():
        photo_list.append(path_photos + "\\" + photo)
chunk.addPhotos(photo_list)
```

*Ilustración 16: Código Python para cargar imágenes.*

En primer lugar se seleccionaron las imágenes que se iban a emplear y se cargaron en el programa, hay dos modalidades de carga de fotografías, se puede subir por grupos de imágenes en diferentes carpetas o todas a la vez. PhotoScan es capaz de estimar la calidad de la imagen para cada una de las imágenes cargadas, basándose en el grado de nitidez de la parte mejor enfocada de la imagen, y calcula un valor para cada una. Es recomendable que todas las imágenes empleadas tengan un valor superior a 0.5 ya que los valores inferiores corresponden a imágenes poco nítidas, que pueden disminuir la precisión de los resultados.

Las imágenes empleadas presentaron valores de nitidez entre 0.72 y 1.3.

Agisoft PhotoScan es capaz de ajustar los parámetros de calibración de la cámara de forma automática durante el cálculo de las orientaciones de las imágenes, partiendo de los valores iniciales extraídos de los datos EXIF de las imágenes.



```
# Align photos
- Alignment accuracy in [HighestAccuracy, HighAccuracy, MediumAccuracy,
LowAccuracy, LowestAccuracy]
```

*Ilustración 17: Opciones disponibles para orientar las imágenes.*

```
# Align photos
chunk.matchPhotos(accuracy = HighestAccuracy, preselection = NOpreselection,
filter_mask = False, keypoint_limit = 40000, tiepoint_limit = 4000)
chunk.alignCameras()
```

*Ilustración 18: Código Python para orientar imágenes.*

Se eligió la precisión más alta (HighestAccuracy), PhotoScan utiliza en ese caso la resolución de la foto completa (Medio usaría la imagen al 50%, baja a 25%).

PhotoScan hace una preselección de los puntos basada en la calidad (visual), por lo que sólo se comparan los puntos más altos de calidad.

Por ejemplo, si el límite de Puntos se establece en 40.000 y el límite de punto de conexión se establece en 4000, PhotoScan primero extrae 40000 puntos por cada foto, y solo mantendrá los mejores 4000 puntos. Estos 4000 puntos por foto se utilizarán para los cálculos de alineación.

Esto acelera la alineación bastante porque hay sólo una fracción de los puntos con que comparar

A continuación se estableció el sistema de coordenadas del proyecto. Agisoft PhotoScan alinea las imágenes sin necesidad de puntos de referencia, calculando las orientaciones en el sistema de coordenadas indicado en el EXIF; posteriormente la nube de puntos puede ser escalada y posicionada como convenga.

```
for key in camera.photo.meta.keys():
print(":".join([key, c.photo.meta[key]]))
```

*Ilustración 19: Código Python para ver los metadatos de las imágenes.*

Sin embargo también permite establecer un sistema de coordenadas basado en puntos de apoyo de coordenadas conocidas, de forma que las orientaciones y cálculos posteriores se obtienen ya en el sistema de referencia local deseado. Se optó por esta segunda opción para la obtención de las nubes de puntos de cada modelo en el mismo sistema de referencia que permitiera realizar las posteriores comparaciones.

Se midieron los puntos que se iban a emplear como referencia en todas las imágenes en las que aparecían, enumerándolos convenientemente. Se emplearon las señales colocadas en campo y los puntos tomados en la ermita como puntos de referencia de coordenadas conocidas. Las coordenadas en el sistema local de las marcas de referencia se cargaron a partir de un fichero de texto.

Una vez medidos todos los puntos, se realizó la orientación de las imágenes. PhotoScan realiza esta operación de forma automática, detectando puntos en las imágenes, emparejando los puntos comunes y resolviendo un ajuste de haces de rayos con autocalibración para obtener las posiciones de

las imágenes, las coordenadas de los puntos y los parámetros de la cámara. La calidad del ajuste se puede estimar a partir del error medio cuadrático obtenido en los puntos de apoyo.

PhotoScan permite generar un informe con los datos y resultados del proyecto: número de fotos y estaciones, datos y parámetros de la cámara, errores de los puntos de apoyo tras el ajuste, densidad de la nube de puntos y rango de elevaciones del MDE, entre otros.

Se generaron los informes correspondientes a cada modelo obtenido, donde figura el error medio cuadrático obtenido.

En este paso se obtiene una nube de puntos poco densa, con un número de puntos adecuado para realizar la orientación de las imágenes, pero insuficiente para la obtención de un modelo de precisión de la zona de interés. Se pasa a la etapa siguiente de generación de nubes densas de puntos.

#### ORIENTACIÓN

ZONA	Nº DE PUNTOS	Puntos homólogos (t)	Orientación (t)
FRONTAL	82,869 de 132,233	21 minutos 30 segundos	2 minutos 30 segundos
TRASERA	82,649 de 97,627	15 minutos 47 segundos	1 minuto 20 segundos
LATERAL DERECHO	39,596 de 55,672	8 minutos 4 segundos	24 segundos
LATERAL IZQUIERDO	28,806 de 38,192	5 minutos 57 segundos	31 segundos
DIAGONAL 1	7,095 de 7,864	50 segundos	4 segundos
DIAGONAL 2	13,391 de 14,866	4 minutos 25 segundos	14 segundos
DIAGONAL 3	12,509 de 14,499	2 minutos 53 segundos	8 segundos
DIAGONAL 4	7,327 de 8,200	1 minuto 25 segundos	7 segundos
TORRE	8,005 de 10,856	47 segundos	5 segundos
PORCHE	16,747 de 18,044	1 minuto 27 segundos	6 segundos
CAMPANARIO	868 de 7,276	13 segundos	2 segundos
AEREO	159,301 de 227,729	10 horas 20 minutos	3 minutos 17 segundos

Tabla 22: Orientación de los diferentes bloques de fotografías.

## 17.2 NUBE DE PUNTOS DENSA

```
# Dense point cloud quality
QUALITY = {"1":PhotoScan.UltraQuality,
           "2":PhotoScan.HighQuality,
           "4":PhotoScan.MediumQuality,
           "8":PhotoScan.LowQuality,
           "16":PhotoScan.LowestQuality}
```

*Ilustración 20: Opciones calidad de la nube de puntos densa.*

```
# Depth filtering
FILTERING = {"3":PhotoScan.NoFiltering,
            "0":PhotoScan.MildFiltering,
            "1":PhotoScan.ModerateFiltering,
            "2":PhotoScan.AggressiveFiltering}
```

*Ilustración 21: Opciones filtro de la nube de puntos densa.*

Se generó la nube densa de puntos, seleccionando las opciones de calidad extra alta y filtrado suave en los modelos aéreos y filtrados agresivos en los modelos terrestres, ya que en las esquinas los puntos se iban al infinito. El resultado es una nube de puntos con información de textura fotográfica mucho más densa que la inicial.

Se siguieron dos vías de cálculo de la nube de puntos, por un lado se realizó el cálculo completo con la totalidad de los puntos, esto ralentizó bastante el proceso ya que se requerían unos procesadores computacionales muy avanzados. Por lo que fue necesario bajar el nivel de calidad de extra alta a alta.

```
# Building dense cloud
    PhotoScan.app.gpu_mask = 1
# GPU devices binary mask
    PhotoScan.app.cpu_cores_inactive = 2
# CPU cores inactive
    chunk.buildDenseCloud(quality = PhotoScan.UltraQuality , filter =
    PhotoScan.AggressiveFiltering)
```

*Ilustración 22: Código Python para generar la nube de puntos densa.*

Por otro lado se calculó la orientación previamente descrita y el cálculo de la nube de puntos densa de cada uno de los bloques, esto nos permitió acelerar el proceso de cálculo y aumentar el nivel de calidad. Posteriormente se fusionaron cosiendo las diferentes partes en una sola.

NUBE DE PUNTOS DENSA

ZONA	Nº DE PUNTOS DENSA	Mapas de profundidad (t)	Nube de puntos densa (t)
FRONTAL	47,163,655	21 horas 28 minutos	16 horas 44 minutos
TRASERA	33,373,020	14 horas 9 minutos	19 horas 34 minutos
LATERAL DERECHO	8,379,994	12 horas 52 minutos	4 horas 56 minutos
LATERAL IZQUIERDO	11,951,937	23 horas 47 minutos	8 horas 40 minutos
DIAGONAL 1	10,791,463	21 minutos 6 segundos	9 minutos 53 segundos
DIAGONAL 2	14,463,518	2 horas 30 minutos	10 horas 42 minutos
DIAGONAL 3	11,113,601	1 hora 54 minutos	13 horas 40 minutos
DIAGONAL 4	12,242,694	31 minutos 21 segundos	8 minutos 52 segundos
TORRE	1,325,121	1 hora 1 minuto	1 hora 24 minutos
PORCHE	18,493,721	1 hora 35 minutos	4 minutos 57 segundos
CAMPANARIO	1,709,633	1 minuto 44 segundos	3 minutos 24 segundos
AEREO	90,783,982	8 horas 57 minutos	49 minutos 25 segundos

Tabla 23: Generación de nube de puntos densa de los diferentes bloques de fotografías.

*Se generaron los modelos con diferentes ordenadores de ahí las discrepancias*

Para la fusión de los diferentes bloques se utilizó la posición de las cámaras calculadas en el bloque general con las precisiones requeridas.

Se hizo necesaria una limpieza de la nube de puntos ya que en las zonas periféricas se genera bastante ruido, así como en zonas como el campanario frontal y la torre.

A la hora de generar los dos tipos, una con todo a la vez y otra cosiendo las diferentes partes, se vio que se generaba mucho más ruido en el segundo de los casos, ya que el programa utilizando todas las imágenes elimina mucho de esos puntos ya que los encuentra mejor desde otra fotografía, además se insertan muchos menos puntos duplicados.

### 17.3 MALLA

```
# Build mesh
- Surface type in [Arbitrary, HeightField]
- Interpolation mode in [EnabledInterpolation, DisabledInterpolation,
Extrapolated]
- Face count in [HighFaceCount, MediumFaceCount, LowFaceCount]
- Data source in [PointCloudData, DenseCloudData, ModelData, ElevationData]
```

*Ilustración 23: Opciones para generar la malla.*

```
# Building mesh
chunk.buildModel(surface = Arbitrary, source = source, interpolation =
interpolation, face_count = PhotoScan.HighFaceCount)
```

*Ilustración 24: Código Python para generar la malla.*

EL siguiente paso es a partir de la gran densidad de puntos creada es la producción de una malla/red de triángulos interpolados para posteriormente generar el modelo final texturizado. En este caso particular nos hemos asegurado de que los parámetros de configuración idóneos para la restitución de fachadas son:

- Tipo de fuente: Arbitrario (objetos cerrados, edificios)
- Puntos de Fuente: Dense Cloud (a partir de nube densa)
- Número de caras: Alta (a partir de puntos generados en paso anterior)
- Interpolación: Default (cubre agujeros/zonas sin cobertura de forma semiautomática pero debe ser revisado).
- Clase de puntos: Todos.

Para la creación de la malla se utilizó la nube de puntos densa de cada uno de los modelos y el modelo general en el que se empleó un número de caras variable que va en función de la nube de puntos previamente calculada.

MALLA

ZONA	Nº DE CARAS	Nº DE VÉRTICES	DURACIÓN (t)
FRONTAL			
TRASERA	5,920,094	2,965,982	27 minutos 59 segundos
LATERAL DERECHO	2,281,075	1,148,495	20 minutos 34 segundos
LATERAL IZQUIERDO	2,635,026	1,325,569	22 minutos 37 segundos
DIAGONAL 1	394,445	198,596	2 minutos 12 segundos
DIAGONAL 2	969,112	486,163	7 minutos 9 segundos
DIAGONAL 3	553,318	278,236	5 minutos 26 segundos
DIAGONAL 4	598,862	301,363	5 minutos 12 segundos
TORRE	131,95	66,687	5 minutos 14 segundos
PORCHE	4,029,650	2,020,827	25 minutos 27 segundos
CAMPANARIO	359,75	180,392	1 minuto 1 segundo
AEREO	82,147	41,707	7 segundos

Tabla 24: Generación de la malla de los diferentes bloques de fotografías.

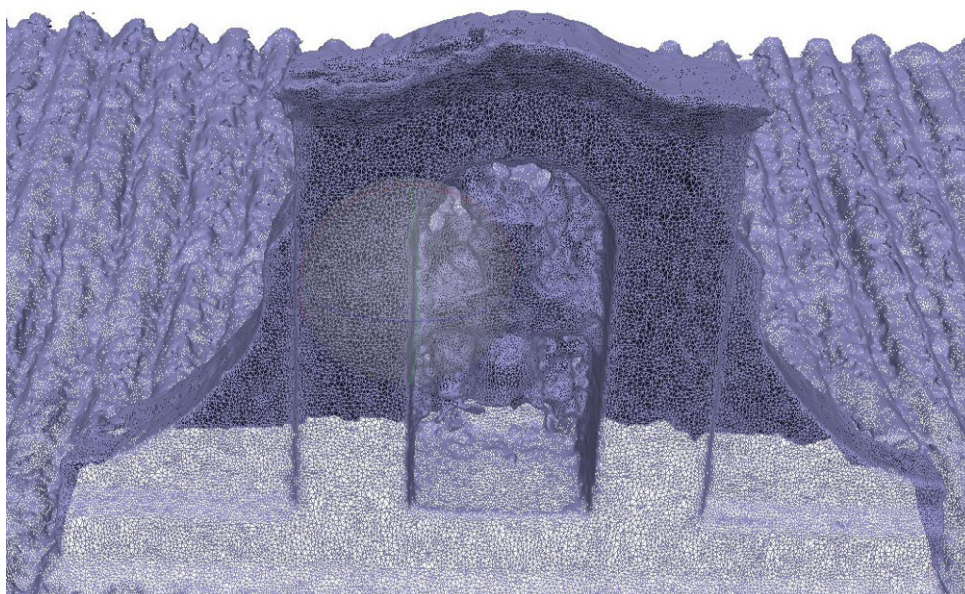


Ilustración 25: Detalle de la triangulación del campanario.

En total se generaron 24.295.119 caras con 12.158.556 vértices.

## 17.4 TEXTURA

Podemos escoger entre diferentes opciones:

- Genérico: Modo predeterminado, permite parametrizar mapas de textura de geometría arbitraria. El programa intenta crear una textura uniforme.
- Ortofoto: Toda la superficie del objeto se textura en la proyección ortográfica, no se recomienda para imágenes verticales.
- Ortofoto adaptativa: el programa tiende a producir una representación de textura más compacta para las escenas casi planas, manteniendo una buena calidad de la textura de las superficies verticales, como las paredes de los edificios.
- Esférico: apropiado sólo para una determinada clase de objetos que tienen forma de bola.
- Cámara única: permite generar la textura de una sola imagen.
- Conservar mapa UV: se puede utilizar para reconstruir mapas de textura usando diferente resolución o para generar los mapas para el modelo parametrizado en un software externo.

```
# Generate uv mapping for the model.  
- UV mapping mode in [GenericMapping, OrthophotoMapping,  
AdaptiveOrthophotoMapping, SphericalMapping, CameraMapping]  
# Generate texture for the chunk.  
- Blending mode in [AverageBlending, MosaicBlending, MinBlending, MaxBlending,  
DisabledBlending]
```

*Ilustración 26: Opciones para generar la textura.*

Finalmente se construye el modelo con texturas a partir de las tomas fotográficas efectuadas.

```
# Build texture  
chunk.buildUV(mapping = mapping, count = 1)  
chunk.buildTexture(blending = PhotoScan.MosaicBlending , color_correction = True,  
size = 30000)
```

*Ilustración 27: Código Python para generar la textura.*

Seleccionaremos en ajustes principales el modo de mapeado (Genérico), modo de mezcla (Mosaico), el tamaño/número de texturas (12.000 x 1 es un buen ratio para este tipo de trabajo) y por último en opciones avanzadas activamos realizar corrección de color.

## 17.5 DEM O MDT

Es posible generar un modelo digital de elevaciones, en nuestro caso se ha generado uno en el modelo aéreo y se han clasificado los puntos del terreno y edificios, una vez clasificados se utilizó este modelo para generar las curvas de nivel.

```
# Build elevation model for the chunk.  
-BuildDem(source=DenseCloudData, interpolation=EnabledInterpolation[, projection  
][, region ][, classes][, progress])  
-Data source in [PointCloudData, DenseCloudData, ModelData, ElevationData]
```

*Ilustración 28: Opciones para generar el MDT.*

```
# Build elevation model for the chunk.  
chunk.buildDem(source=PhotoScan.DenseCloudData,  
interpolation=PhotoScan.EnabledInterpolation, projection=chunk.crs)
```

*Ilustración 29: Código Python para generar el MDT.*

## 17.6 ORTOFOTO

Para generar los ortofotomosaicos es necesario primero seleccionar la fachada en el modo de vista, e ir generando por fases cada una de las fachadas de la siguiente manera:

```
# Build orthomosaic for the chunk.  
- Data source in [PointCloudData, DenseCloudData, ModelData, ElevationData]  
- Blending mode in [AverageBlending, MosaicBlending, MinBlending, MaxBlending,  
DisabledBlending]
```

*Ilustración 30: Opciones para generar la ortofoto.*

```
# Build orthomosaic for the chunk.  
chunk.buildOrthomosaic(surface=PhotoScan.ModelData,  
blending=PhotoScan.MosaicBlending, color_correction=True, projection=chunk.crs)
```

*Ilustración 31: Código Python para generar la ortofoto.*

Los planos de las ortofotos podemos encontrarlas como planos en los anexos.



## 18. MODELO 3D

Para exportar nuestro modelo a un modelo 3D que pueda ser admitido en la mayoría de los programas, es necesario exportarlo a un .obj de esta manera exportaremos no solo la malla y el modelo tridimensional, sino además la textura aplicada sobre esa malla.

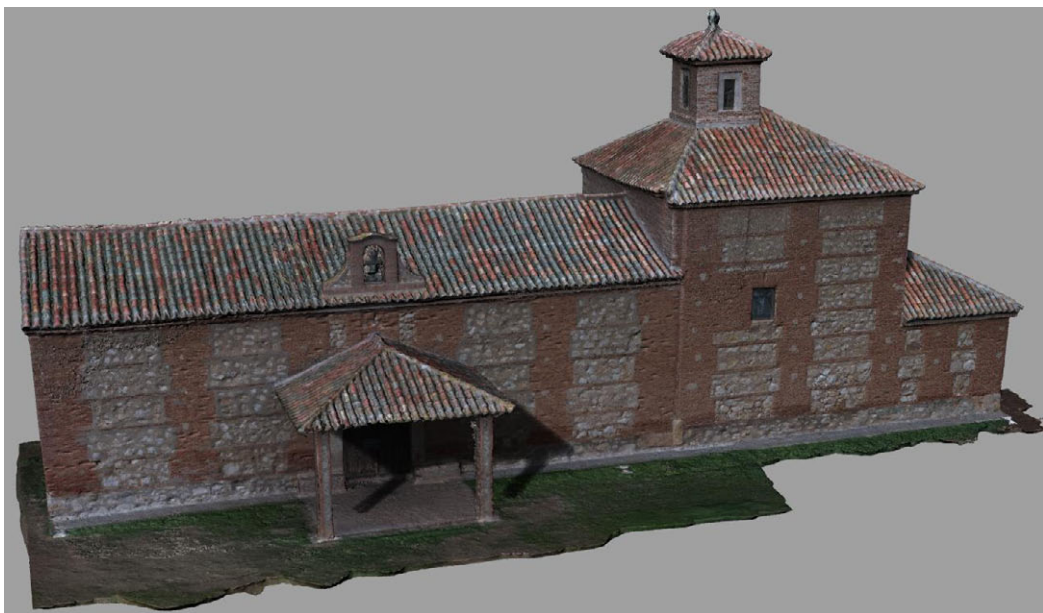
En agisoft es tan sencillo como exportar modelo a .obj

```
# Export model.  
crs = PhotoScan.CoordinateSystem('LOCAL_CS["Local CS",LOCAL_DATUM["Local  
Datum",0],UNIT["metre",1]]')  
chunk.exportModel(arqExpModel, format='obj',projection=crs):
```

*Ilustración 32: Código Python para exportar el modelo.*



*Ilustración 33: Detalle del modelo 3D.*



*Ilustración 34: Detalle del modelo 3D con textura fotorealista.*

## 18.1 VUELO 3D

Agisoft PhotoScan es capaz de exportar y subir modelos generados a una aplicación externa llamada sketchfab.

Sketchfab es un sitio web utilizado para visualizar y compartir contenido 3D online. La compañía se fundó en Francia y hoy se encuentra localizada en París y Nueva York. Sketchfab proporciona un visualizador de modelos 3D basado en tecnología WebGL que permite reproducir modelos 3D tanto en páginas web para móviles como de escritorio.

pero solo es posible subir hasta 50 MB por lo que se hizo necesario hacer una reducción del modelo generado en Agisoft, reduciendo el número de caras de la malla de 24.000.000 a 1.000.000 reduciendo el peso del archivo de 2GB a casi 24 MB, una reducción de peso considerable y generando un archivo mucho más manejable.

El primer paso que se realiza es inscribirse en la página de Sketchfab: <http://www.sketchfab.com/>

Una vez inscritos se necesita conocer nuestra clave API ya que se pide a la hora subir el modelo 3D vía PhotoScan. Podemos encontrarla en el menú de herramientas o bien siguiendo el siguiente enlace: <https://sketchfab.com/settings/password>

Para insertar el modelo en una web solo hace falta integrar el siguiente código embebido en el código HTML:

```
<div class="sketchfab-embed-wrapper"><iframe width="640" height="480"
src="https://sketchfab.com/models/7b23a1df14854a42ac3bb5e55481320a/embed"
frameborder="0" allowvr allowfullscreen mozallowfullscreen="true"
webkitalallowfullscreen="true" onmousewheel=""></iframe>

<p style="font-size: 13px; font-weight: normal; margin: 5px; color: #4A4A4A;">
  <a
href="https://sketchfab.com/models/7b23a1df14854a42ac3bb5e55481320a?utm_medium=em
bed&utm_source=website&utm_campaign=share-popup" target="_blank" style="font-
weight: bold; color: #1CAAD9;">ERMITA SANTOS DE LA HUMOSA</a>
  by <a
href="https://sketchfab.com/gabas?utm_medium=embed&utm_source=website&utm_campaign
=share-popup" target="_blank" style="font-weight: bold; color:
#1CAAD9;">gabas</a>
  on <a
href="https://sketchfab.com?utm_medium=embed&utm_source=website&utm_campaign=share
-popup" target="_blank" style="font-weight: bold; color: #1CAAD9;">Sketchfab</a>
</p>
</div>
```

*Ilustración 35: Código HTML para insertar el modelo generado en Sketchfab.*

O en BBCODE (Bulletin Board Code) para ser utilizado preferentemente en foros de discusión y correos electrónicos para embellecer la forma en que un mensaje o post es presentado.

```
[sketchfab]7b23a1df14854a42ac3bb5e55481320a[/sketchfab]  
[url=https://sketchfab.com/models/7b23a1df14854a42ac3bb5e55481320a]ERMITA SANTOS  
DE LA HUMOSA[/url] by [url=https://sketchfab.com/gabas]gabas[/url] on  
[url=https://sketchfab.com]Sketchfab[/url]
```

*Ilustración 36: Código BBCODE para insertar el modelo generado en sketchfab.*

Podemos ver el modelo final en el siguiente enlace: <https://skfb.ly/68YSY>



*Ilustración 37: Visualización de la página de Sketchfab una vez insertado el modelo 3D.*

## 18.2 IMPRESIÓN 3D

Para realizar una impresión en 3D utilizaremos el modelo generado anteriormente con un número reducido de caras y procederemos a escalar el modelo a un tamaño DIM A4.

Es necesario exportar el archivo en un formato .stl

## BLOQUE V

# RESULTADOS

## 19. RESULTADOS

Agisoft Photoscan es capaz de calcular los coeficientes de calibración y la matriz de correlación a partir de las fotos subidas, sin necesidad de una calibración previa con los siguientes parámetros:

- $f_x$  - distancia focal horizontal, en píxeles
- $f_y$  - distancia focal vertical, en píxeles
- Coordenada  $c_x$  - X del punto principal
- Coordenada  $c_y$  - Y del punto principal
- $K_1, K_2, K_3, K_4, P_1, P_2, P_3, P_4$  - distorsiones radiales de las lentes

Para comparar se generaron 3 modelos diferentes con apoyo, el primer modelo, se trata de todas las fotos aéreas, en total se insertaron 264 imágenes a una Altitud media de vuelo de 43 m con una Resolución en terreno de 1.91 cm/pix.

### AÉREA

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	2254,38	2	1,00	0,93	-0,90	0,08	0,02	0,50	-0,85	0,90	-0,92	0,01	-0,46	-0,38	0,48
Cx	4,6116	0,08		1,00	-0,85	0,13	-0,04	0,36	-0,78	0,83	-0,85	0,22	-0,39	-0,44	0,49
Cy	-31,4128	0,19			1,00	-0,14	0,00	-0,42	0,76	-0,80	0,83	-0,04	0,46	0,39	-0,46
B1	8,03726	0,16				1,00	0,00	0,24	-0,12	0,13	-0,13	-0,04	-0,33	0,05	0,03
B2	3,38106	0,13					1,00	0,03	-0,03	0,03	-0,03	-0,01	0,01	0,01	0,00
K1	0,0168388	7,00E-05						1,00	-0,68	0,66	-0,65	-0,22	-0,60	0,22	0,04
K2	-0,0429981	0,00018							1,00	-0,99	0,98	0,02	0,41	0,28	-0,38
K3	0,0462762	0,00027								1,00	-1,00	-0,02	-0,44	-0,30	0,40
K4	-0,017599	0,00014									1,00	0,01	0,45	0,31	-0,42
P1	-0,00017512	4,50E-06										1,00	0,08	-0,15	0,04
P2	-0,00104043	3,90E-06											1,00	0,27	-0,46
P3	-0,936165	0,0047												1,00	-0,93
P4	0,4476	0,0037													1,00

Tabla 25: Coeficientes de calibración y matriz de correlación del bloque Aéreo.

En el segundo modelo se insertaron las fotografías terrestres, sin incluir el porche, ya que se quería una homogeneidad y el porche se encontraba a un alejamiento superior de la fachada frontal respecto a las demás fotografías.

Se insertaron un total de 378 imágenes a una Altitud media de vuelo de 9.42 m y con una Resolución en terreno de 4.58 mm/pix.

TERRESTRE

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
<b>F</b>	2332,98	0,16	1,00	0,01	-0,20	-0,95	-0,05	0,01	-0,01	0,01	-0,02	-0,01	-0,10	0,00	0,00
<b>Cx</b>	7,41072	0,038		1,00	-0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,36	0,05	-0,12	0,06
<b>Cy</b>	-39,4215	0,11			1,00	0,18	-0,07	0,00	-0,02	0,04	-0,05	0,02	0,37	-0,04	0,01
<b>B1</b>	0,878148	0,16				1,00	0,06	-0,05	0,04	-0,04	0,04	0,01	0,10	0,00	0,00
<b>B2</b>	0,354707	0,057					1,00	0,00	0,00	-0,01	0,01	-0,03	0,02	-0,01	-0,01
<b>K1</b>	0,0118942	3,90E-05						1,00	-0,97	0,92	-0,86	0,00	-0,07	-0,05	0,04
<b>K2</b>	-0,0456325	0,00013							1,00	-0,98	0,95	0,01	0,04	0,06	-0,05
<b>K3</b>	0,050932	0,00018								1,00	-0,99	-0,01	-0,01	-0,03	0,02
<b>K4</b>	-0,019853	8,10E-05									1,00	0,01	-0,03	-0,01	0,03
<b>P1</b>	-0,00017458	4,00E-06										1,00	0,09	-0,09	-0,01
<b>P2</b>	-0,0008398	5,90E-06											1,00	0,07	-0,23
<b>P3</b>	-1,19513	0,0079												1,00	-0,93
<b>P4</b>	0,590927	0,0068													1,00

Tabla 26: Coeficientes de calibración y matriz de correlación del bloque Terrestre.

Finalmente se generó un modelo con todas las imágenes, excepto la torre que dio un error a la hora de hacer la orientación, en este modelo general se insertaron

Un total de 651 imágenes a una Altitud media de vuelo de 27.4 m (esta altitud no es real ya que hace media entre las terrestres que se encuentran a unos 9 m y las aéreas que se encuentran a 42 m) con una Resolución en terreno: 4.2 mm/pix.

### GENERAL

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
<b>F</b>	2330,38	0,092	1,00	0,01	-0,03	-0,94	-0,11	0,01	-0,01	0,02	-0,03	-0,01	0,15	-0,05	0,02
<b>Cx</b>	8,09365	0,017		1,00	-0,05	0,03	-0,10	-0,01	0,01	0,00	0,00	0,30	-0,02	-0,02	0,01
<b>Cy</b>	-39,427	0,055			1,00	0,04	0,01	0,00	-0,02	0,02	-0,03	-0,03	0,16	0,05	-0,04
<b>B1</b>	3,63308	0,09				1,00	0,10	-0,03	0,04	-0,04	0,05	0,00	-0,17	0,05	-0,01
<b>B2</b>	1,33591	0,043					1,00	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,01	0,01	-0,01
<b>K1</b>	0,0122814	2,20E-05						1,00	-0,96	0,92	-0,86	-0,02	-0,01	0,01	-0,01
<b>K2</b>	-0,0466775	7,30E-05							1,00	-0,99	0,96	0,01	0,00	0,00	0,01
<b>K3</b>	0,0525549	9,80E-05								1,00	-0,99	-0,01	0,01	0,01	-0,02
<b>K4</b>	-0,020824	4,50E-05									1,00	0,01	-0,03	-0,03	0,04
<b>P1</b>	-0,00010667	2,10E-06										1,00	-0,01	0,03	-0,06
<b>P2</b>	-0,00084437	2,30E-06											1,00	0,43	-0,48
<b>P3</b>	-1,28144	0,0032												1,00	-0,96
<b>P4</b>	0,60431	0,0031													1,00

Tabla 27: Coeficientes de calibración y matriz de correlación del bloque General con todas las imágenes.

Viendo los resultados de la calibración automática, vemos que en el aéreo pese a ser las imágenes más homogéneas entre ellas y con el mismo solape los errores a la hora de calibrar son mayores.

En el modelo terrestre vemos una mejoría en los errores, por lo que parece que la altura de vuelo y la resolución puede influir en una mejor calibración.

Finalmente en el modelo final con todas las imágenes vemos que el número de imágenes si influye bastante, la altura de vuelo no es tan importante puesto que en el último modelo es mayor que en el solo terrestre y los resultados son mejores, también vemos que el tamaño de pixel si es representativo.

Por lo que viendo los resultados cuanto más fotografías insertemos, mejor será la calibración automática de la cámara.

Analicemos ahora por otro lado La nube de puntos de enlace:

### AÉREA

- Puntos 217,037 de 230,794.
- RMS error de reproyección 0.241485 (0.388105 pix).
- Error de reproyección máximo 1.17394 (18.9179 pix).
- Tamaño promedio de puntos característicos 1.73523 pix.
- Superposición efectiva 4.49851.
- Proyecciones: 924,569.

#### TERRESTRE

- Puntos 202,668 de 308,742.
- RMS error de reproyección 0.217288 (0.556847 pix).
- Error de reproyección máximo 1.12881 (17.2823 pix).
- Tamaño promedio de puntos característicos 2.74916 pix.
- Superposición efectiva 4.76638.
- Proyecciones: 866,141.

#### GENERAL

- Puntos 587,884 de 674,463.
- RMS error de reproyección 0.227112 (0.496491 pix).
- Error de reproyección máximo 1.1364 (23.3706 pix).
- Tamaño promedio de puntos característicos 2.33322 pix.
- Superposición efectiva 4.47856.
- Proyecciones: 2414,028.

Si los vemos en una tabla para poder comparar resultados:

	Aérea	Terrestre	General
Puntos	217,037	202,668	587,884
Error de reproyección (RMS)	0,388	0,557	0,496
Error de reproyección máximo	18,918	17,282	23,371
Tamaño promedio de puntos característicos	1,735	2,749	2,333
Superposición efectiva	4,499	4,766	4,479
Proyecciones	924,569	866,141	2414,028

Tabla 28: Comparativa de nube de puntos de enlace.

En esta situación sin embargo podemos comprobar que el error de reproyección (RMS) en píxeles es mucho menor en el modelo con solo fotos aéreas, vemos que en el modelo terrestre si es muy superior respecto a los demás.

En este caso las conclusiones que sacamos es que no hace falta un número muy numeroso de puntos para tener obtener buenos resultados.

Pasemos a comparar los resultados obtenidos, comparando los errores absolutos y los puntos de apoyo insertados.



*LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA)  
Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)*

Aéreo

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)	Numero
1	0,506734	-0,120767	0,171116	0,54831	0,396	12
12	-1,17653	-0,0716799	-1,28679	1,74505	0,357	13
16	-1,02605	0,461345	0,496982	1,22988	0,489	13
2	0,111057	-0,389898	0,579705	0,707398	0,373	13
3	0,59415	-0,379268	1,13553	1,33652	0,373	8
4	-0,141877	-0,446826	-0,162304	0,49611	0,481	14
6	0,997742	0,991984	-0,883264	1,66123	0,503	16
<b>Total</b>	<b>0,76296</b>	<b>0,494558</b>	<b>0,789582</b>	<b>1,20422</b>	<b>0,435</b>	

*Tabla 29: Errores puntos de apoyo en el bloque Aéreo.*

Terrestre

Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)	Numero
1	-0,456411	0,884524	0,00391415	0,995344	0,434	13
12	0,0620544	-1,82469	0,770298	1,98159	0,487	10
16	-2,50615	-2,02706	-2,36001	3,99492	0,318	45
2	-0,469132	0,257809	0,628259	0,825385	0,319	28
3	0,0635383	-1,03018	-1,12312	1,52535	0,454	32
4	0,643657	-1,34097	-0,368583	1,53243	0,404	38
51	-0,055651	0,579971	0,194158	0,614134	0,714	25
52	0,226048	0,915715	-0,375174	1,01508	0,614	95
53	0,684885	-0,974283	-1,11171	1,62917	0,695	55
54	-5,05924	3,92304	4,8467	8,02974	0,744	67
55	1,25476	-0,51691	-1,51322	2,0326	0,313	170
59	-0,983565	0,950217	0,248092	1,38991	0,609	100
6	2,0632	-2,14887	-2,20429	3,70585	0,333	42
60	-1,01426	-0,509534	-1,05872	1,55218	0,551	47

*LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA)  
Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)*

61	5,52608	2,69971	3,4278	7,041	0,726	59
<b>Total</b>	<b>2,18503</b>	<b>1,67326</b>	<b>1,87867</b>	<b>3,3322</b>	<b>0,54</b>	

*Tabla 30: Errores puntos de apoyo en el bloque Terrestre.*

General						
Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)	Numero
1	-0,219197	0,209606	-0,117179	0,325135	0,441	24
2	0,0969554	-0,233873	0,429193	0,498301	0,483	35
3	0,0269338	-0,592856	-1,49644	1,60983	0,552	44
4	-0,00392414	-1,04645	-0,629652	1,22128	0,54	54
51	0,527529	-0,0550971	0,353088	0,637176	0,728	29
52	1,20491	0,367377	-0,0752157	1,26192	0,708	95
53	0,775394	-0,636239	-0,58263	1,15995	0,73	61
54	-5,99489	3,53495	4,96784	8,55068	0,742	75
55	1,82091	-0,115259	-0,690032	1,95067	0,355	170
56	0,243549	-1,3863	-0,982313	1,71641	0,511	8
57	-0,0342455	-2,38834	-1,64565	2,9006	0,736	21
59	-0,910632	0,866443	0,101624	1,26107	0,64	100
6	0,651218	-0,903607	-2,7218	2,94088	0,442	60
60	-1,069	-0,716413	-0,902984	1,57207	0,666	47
61	5,94868	2,661	3,20092	7,26041	0,736	60
12	-2,34408	-0,155104	0,462163	2,39423	0,318	14
16	-2,15058	-0,921709	-2,50433	3,42727	0,377	4
201	0,524682	1,84007	1,16886	2,24218	0,481	15
<b>Total</b>	<b>2,23461</b>	<b>1,4072</b>	<b>1,80221</b>	<b>3,19713</b>	<b>0,596</b>	

*Tabla 31: Errores puntos de apoyo en el bloque General.*

Comparemos los resultados después del ajuste mínimo cuadrado que realiza el programa:

	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
Aéreo	0,76296	0,494558	0,789582	1,20422	0,435
Terrestre	2,18503	1,67326	1,87867	3,3322	0,540
General	2,23461	1,4072	1,80221	3,19713	0,596

Tabla 32: Comparativa de errores de los tres bloques.

Vemos que el error en total y en píxel es menor en la fotos aéreas, esto ocurre, porque la distancia es mayor y se comete menos error a la hora de insertar los puntos, podemos observar que el error píxel es menor también, en cambio en los otros dos modelos, los resultados son más parejos, porque se ha utilizado un número mayor de puntos de control, en el aéreo solo se han utilizado los puntos de control de las dianas, en cambio en el terrestre y en el general se utilizan también los puntos de control medidos verticalmente.

Comparemos ahora los puntos que se han utilizado en los 3 modelos, es decir los puntos 1, 2, 3, 4, 6, 12, 16.

	Nombre	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)	Numero
Aéreo	1	0,506734	-0,120767	0,171116	0,54831	0,396	12
Terrestre	1	-0,456411	0,884524	0,00391415	0,995344	0,434	13
General	1	-0,219197	0,209606	-0,117179	0,325135	0,441	24

Aéreo	2	0,111057	-0,389898	0,579705	0,707398	0,373	13
Terrestre	2	-0,469132	0,257809	0,628259	0,825385	0,319	28
General	2	0,0969554	-0,233873	0,429193	0,498301	0,483	35

Aéreo	3	0,59415	-0,379268	1,13553	1,33652	0,373	8
Terrestre	3	0,0635383	-1,03018	-1,12312	1,52535	0,454	32
General	3	0,0269338	-0,592856	-1,49644	1,60983	0,552	44

Aéreo	4	-0,141877	-0,446826	-0,162304	0,49611	0,481	14
Terrestre	4	0,643657	-1,34097	-0,368583	1,53243	0,404	38
General	4	-0,00392414	-1,04645	-0,629652	1,22128	0,54	54

Aéreo	6	0,997742	0,991984	-0,883264	1,66123	0,503	16
Terrestre	6	2,0632	-2,14887	-2,20429	3,70585	0,333	42
General	6	0,651218	-0,903607	-2,7218	2,94088	0,442	60

Aéreo	12	-1,17653	-0,0716799	-1,28679	1,74505	0,357	13
Terrestre	12	0,0620544	-1,82469	0,770298	1,98159	0,487	10
General	12	-2,34408	-0,155104	0,462163	2,39423	0,318	14

Aéreo	16	-1,02605	0,461345	0,496982	1,22988	0,489	13
Terrestre	16	-2,50615	-2,02706	-2,36001	3,99492	0,318	45
General	16	-2,15058	-0,921709	-2,50433	3,42727	0,377	4

Tabla 33: Comparativa de errores punto a punto, (se han sombreado los mejores en cada caso).

Analizando los resultados vemos que el eje XY está mejor en el general y en el aéreo, y la Z en el aéreo, esto nos dice que el apoyo aéreo no sólo no empeora sino que mejora los resultados, combinándolo con los fotogramas terrestres, aunque parezca sorprendente, ya que se puede llegar a la conclusión que los puntos tomados verticalmente la Z estaría mejor, y no es así, por lo que concluimos en un vuelo terrestre, hacer un apoyo aéreo aunque solo se tomen dianas en el suelo, mejora bastante la calidad del ajuste podemos decir que “ata” mucho mejor el sistema general.

Otra observación a realizar es que cuanto más bajo sea el error en pixel mejor estará el cálculo de ajuste, ya que la dispersión entre los puntos insertados será menor.

Otro de los resultados que podemos observar es el número de imágenes en los que aparecen los marcadores, una mayor cantidad de puntos marcados en muchas imágenes no mejora sustancialmente el ajuste, vemos por ejemplo en el número 16 que se puede obtener el mismo error total, midiendo 4 como midiendo 45 e incluso puede llegar a empeorar como podemos observar.

Por lo que aconsejo medir los puntos en pocas imágenes, pero que se vean muy bien en esas imágenes, de esta manera reduciremos el error en pixel y mejoraremos el ajuste mínimo cuadrático.

Para la generación de los modelos una vez atada las coordenadas de los centros de proyección, Se tomó la decisión de generar cada uno de los bloques por separado, es decir generar FRONTAL, TRASERA, los laterales DERECHO e IZQUIERDO, la TORRE, el CAMPANARIO, el PORCHE y cada una de las tomas diagonales.

Para la generación de estos bloques por partes se eligió la calidad más alta, ya que el número de fotografías por bloque es menor, esto permitió una generación de resultados de más calidad y en un tiempo relativamente más corto, aunque pese a la capacidad de los ordenadores llevo más de 2 días de cálculo por modelo.

Pese a tener mejor calidad y nube de puntos más alta, los resultados eran muy buenos en las partes centrales pero ocasionan bastante ruido en las partes exteriores, y en las esquinas, ya que los puntos se iban al infinito, no se generaban bien o no tenían la textura correcta, ya que puntos en las esquinas cogían colores de la vegetación.

Una de las ideas iniciales era generar por partes cada bloque y unirlos, en los puntos perpendiculares a las fotografías, los resultados son bastante buenos, pero en cuanto nos alejábamos a puntos exteriores, ensuciaba los modelos adyacentes, por lo que se requiere un trabajo de limpieza de puntos mayor, quedándonos solo con los puntos frontales y desechando los puntos de zonas laterales.

Se vio que los modelos generados en las esquinas no encajaban con los demás modelos, por lo que se simplificó, seleccionando solo los laterales, las caras frontal y trasera y el porche.

Por otro lado se generó un modelo global con todas las fotografías, tanto terrestre como aéreo, los resultados fueron ideales, pero el número de fotografías complicó bastante la generación de nubes de puntos, solo se pudo generar un modelo en calidad baja, que no cumplía con la calidad requerida, ya que al generar pocos puntos, no se mostraba el detalle.



*Ilustración 38: Ermita generada en baja resolución.*

(Podemos observar en la imagen como los aleros del tejado se redondean y las tejas se aplanan)



*Ilustración 39: Comparativa de resultados.*

Con más detalle vemos esta distorsión producida en la malla por la generación de pocos puntos densos y una malla demasiado grosera.

Para comparar modelos se generó uno solo aéreo y otro solo terrestre, sin incluir el porche.

Los resultados en el aéreo fueron satisfactorios ya que todas las fotografías estaban a la misma altura de vuelo.

En el modelo terrestre los resultados también eran bastante buenos, pero al generar la malla y la textura la parte del porche y el campanario quedaban trozos sin recubrir o con distorsiones.

Hagamos ahora un control de calidad y centrémonos en las zonas conflictivas del modelo:

Una de las zonas que peor recubrimiento tenían es la zona del porche, el trabajo con ella ha sido especial que solo disponíamos de tomas frontales, se disponía de fotos oblicuas tomadas desde cada uno de los laterales DERECHO e IZQUIERDO, así como de dos de las diagonales, pero estaban a mucha distancia y generan bastante ruido. Fue necesario procesar por partes las imágenes frontales y luego añadirle los laterales del porche, tratados, es decir recortados y eliminando ruido de la nube de puntos, una zona conflictiva y con la que no se ha podido hacer mucho es el interior del porche, porque no se tomaron fotos, así que el techo del porche ha quedado sin procesar. Una buena metodología de trabajo hubiera sido tomar fotos oblicuas del interior del poche y el techo.





*Ilustración 40: Detalle Porche.*

Otra zona bastante conflictiva ha sido la torre, en especial las tejas que siguen el eje de la ermita , las partes perpendiculares a la fachada tienen una muy buena calidad, ya que han sido tomadas desde FRONTAL y TRASERA, sin embargo la que da a la zona derecha ha quedado peor ,porque estaba alejada de las tomas frontales, y no tiene el detalle suficiente, en el tejado posterior a este, el que da a la parte izquierda, se da el mismo resultado, sin embargo se tomaron tomas y se trabajó por separado.



*Ilustración 41: Detalle Torre.*

## BLOQUE VI

# PRESUPUESTO



## 20. ESTUDIO ECONÓMICO

### PRESUPUESTO Y MEDICIONES

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	UDS	PRECIO	IMPORTE
CAPITULO 1. MEDICIONES					
	Graduado en Ingeniería en Topografía	8	h	25.00	200.00
	Auxiliar Topografía	8	h	12.00	96.00
	Piloto de RPA	6	h	20.00	120.00
					<b>416.00</b>
	Ud. Leica TPS 1202+	2	*	280.00	560.00
	Ud. Batería Leica TPS 1202 +	4		304.00	1216.00
	* Coste de alquiler equipo Topográfico				<b>1776.00</b>
	Ud. Phantom 4	1		1408.00	1408.00
	Ud. Batería Phantom 4	4		148.29	593.16
					<b>2001.16</b>
	Ud. Trípode de madera	2		115.00	230.00
	Ud. Cinta métrica	2		3.15	6.30
	Ud. Jalón	2		16.50	33.00
	Ud. Prisma	2		252.00	504.00
	Ud. Flexómetro	1		9.00	9.00
	Ud. Diana Fotogramétrica	12		12.00	144.00
					<b>926.30</b>
	Combustible desplazamiento	44.6	km	0.08	3.57
	Ud. Coches	2		3.57	7.14
					<b>7.14</b>
	<b>TOTAL BLOQUE 1. MEDICIONES</b>				<b>5126.60</b>

**PRESUPUESTO Y MEDICIONES**

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	UDS	PRECIO	IMPORTE
CAPITULO 2 .CALCULOS					
	Graduado en Ingeniería en Topografía	120	h	25.00	3000.00
					<b>3000.00</b>
	<b>TOTAL BLOQUE 2. CALCULOS</b>				<b>3000.00</b>
CAPITULO 3. MODELADO 3D					
	Graduado en Ingeniería en Topografía	480	h	25.00	12000.00
					<b>12000.00</b>
	Ud. CPU Core i7 32 GB Ram	1		2479.29	2479.29
	Ud Disco duro externo	1		60.00	60.00
					<b>2539.29</b>
	Licencia Agisoft PhotoScan	1		3499.00	3499.00
	Google Drive	1		19.99	19.99
					<b>3518.99</b>
	<b>TOTAL BLOQUE 3. MODELADO 3 D</b>				<b>18058.28</b>
CAPITULO 4. CONTROL DE CALIDAD					
	Graduado en Ingeniería en Topografía	16	h	25.00	400.00
					<b>400.00</b>
	<b>TOTAL BLOQUE 4. CONTROL DE CALIDAD</b>				<b>400.00</b>

**PRESUPUESTO Y MEDICIONES**

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	UDS	PRECIO	IMPORTE
CAPITULO 5. PRODUCTOS					
	Sketchfab PRO	1	Año	348.00	348.00
					<b>348.00</b>
	Impresión 3D	20	h	0.75	15.00
					<b>15.00</b>
	Ud. Planos Dim A3	4		0.20	0.80
	Impresión memoria	170	Hojas	0.10	17.00
	Ud. Encuadernación	1		9.00	9.00
	ud. CD	1		6.60	6.60
					33.40
	Número de Copias	3		33.40	100.20
					<b>100.20</b>
<b>TOTAL BLOQUE 5. PRODUCTOS</b>					<b>463.20</b>

**PRESUPUESTO Y MEDICIONES**

<b>CÓDIGO</b>	<b>RESUMEN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UDS</b>	<b>PRECIO</b>	<b>IMPORTE</b>
<b>CAPITULO 6. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD</b>					
	Ud. Formación en seguridad e higiene	12	h	12.00	144.00
					<b>144.00</b>
	Ud. Reconocimiento médico obligatorio	6	h	18.00	108.00
					<b>108.00</b>
	Ud. Botiquín	1		35.50	35.50
					<b>35.50</b>
	Ud. Chaleco reflectante	3		9.95	29.85
					<b>29.85</b>
	Ud. Par de botas de seguridad	3		39.99	119.97
					<b>119.97</b>
	Ud. Par de guantes de cuero	3		3.15	9.45
					<b>9.45</b>
	Ud. Casco de seguridad homologado	3		19.89	59.67
					<b>59.67</b>
<b>TOTAL BLOQUE 6. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD</b>					<b>506.44</b>

## 20.1 COSTES DEL PROYECTO

### RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
1	MEDICIONES	5126.60	18.6
2	CALCULOS	3000.00	10.9
3	MODELADO 3D	18058.28	65.5
4	CONTROL DE CALIDAD	400.00	1.5
5	PRODUCTOS	463.20	1.7
6	ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	506.44	1.8
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>		<b>27554.52</b>	
13,00 % Gastos generales		3582.09	
6,00 % Beneficio industrial		1653.27	
SUMA DE G.G. y B.I.		<b>5235.36</b>	
21,00 % I.V.A.			
		<b>5786.45</b>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA</b>		<b>38576.32</b>	
<b>TOTAL PRESUPUESTO GENERAL</b>		<b>38576.32</b>	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de **TREINTA Y OCHO MIL QUINIENTOS SETENTA Y SEIS EUROS** con **TREINTA Y DOS CENTIMOS**.

Madrid, Julio de 2017.

## 21. EXPLOTACIÓN

Unos de los posibles usos que se le podría dar es ofrecerlo al ayuntamiento o a páginas webs de patrimonio como reclamo turístico para hacer una visita virtual o para la generación de planos y folletos turísticos.

Gracias a que el desarrollo de objetos 3D está en auge y que a través de aparatos electrónicos como las gafas 3D se podría visitar estas construcciones muy en detalle aunque desaparezcan con el tiempo, sería posible incluirla en un archivo 3D para su posterior conservación y explotación en rutas turísticas en 3 dimensiones a través de ella.

Otro posible uso sería el poderla imprimir con una impresora 3D, o reproducirla en maquetas volumétricas, gracias al fuerte avance de las impresoras tanto láser como plásticas para que los usuarios ciegos o de visibilidad reducida pudieran tocar y contemplarla mediante el tacto.

También se le podría dar uso para el mantenimiento, rehabilitación y reforma de la ermita, por si desapareciese o se destruyere alguna parte poderla reconstruir.

Utilizarla como estudio de su arquitectura y reconstrucciones a lo largo del tiempo.

## 22. CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se ha llegado realizando este proyecto, son en primer lugar la velocidad de la toma de datos en campo, con una mañana fue suficiente para levantar el RPA, tomar las fotografías y realizar las mediciones en campo, sí que es verdad que un apoyo en campo de un sistema GPS hubiera simplificado posteriormente los cálculos.

Pese a lo que se creía anteriormente a la realización del proyecto, el aparato RPA no fluctuaba tanto y los centros de proyección se mantenían bastante paralelos, especialmente en las fotos aéreas.

Un número mayor de dianas en campo hubiera mejorado sustancialmente las precisiones, por ejemplo pegar dianas en la pared hubiera simplificado posteriormente el trabajo de buscar puntos en las fotos, y a la hora de medir, ya que se apunta al centro de la diana, por ejemplo ha sucedido en algunos puntos como el 58 que no se apuntó al mismo punto, esto con una diana pegada no hubiera sucedido.

Pese a los problemas citados anteriormente, las precisiones obtenidas entran en tolerancia y están por debajo de las precisiones a priori calculadas.

En cuanto a realizar el modelo 3D, ha resultado una odisea, no porque el programa fuese malo, sino por la poca capacidad de procesamiento de los ordenadores empleados, el programa requiere bastante tiempo especialmente en el cálculo de la nube de puntos densa y en la generación de la triangulación, un ordenador más potente hubiese restado muchas horas de procesamiento, muchas

veces infructuosas.

En cuanto al modelo resultante es de calidad y con un detalle sorprendente, se han generado muchos modelos y la nube de puntos está muy relacionada, una buena limpieza de puntos puede obtener grandes resultados, el problema de Agisoft PhotoScan es que no dispone de un método automático de limpieza de puntos o eliminación de ruido.

Se ha querido demostrar que empleando medios como una cámara, que en este caso estaba montada en un RPA, se pueden generar todo tipo de modelos tridimensionales y representar la realidad con suficiente fidelidad sin tener que recurrir a métodos más caros, que si bien es cierto los primeros requieren un trabajo más largo en gabinete, los proyectos realizados con fotogrametría de objeto cercano siempre van a resultar más económicos que utilizar un escáner laser.

## 23. BIBLIOGRAFÍA

ARQUITECTURA Y DESARROLLO URBANO, Comunidad de Madrid, Tomo XVI; págs. 495, 496 y 497.

CANTÓ TELLEZ, A: El turismo en la provincia de Madrid. Madrid, Diputación Provincial, 1928; pág. 315.

CANTÓ TELLEZ, A: El turismo en la provincia de Madrid. Madrid, Diputación Provincial, 1958; pág. 423.

CEAS TORRES DE LA ALMEDA; Cultura de los pueblos de nuestra comarca. Torres de la Alameda, 1997; págs. 37 y 38.

DOCUMADRID: Tierras de Alcalá. El valle del Henares (I), nº 13 de la serie “Pueblos y ciudades”, de la colección “Biblioteca Madrileña de Bolsillo”. Comunidad de Madrid, Consejería de Educación. Madrid, 2001; pág. 142.

GALINDO, P. y MALDONADO, L.; Análisis constructivo de las ermitas de la Comunidad de Madrid. Madrid, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Escuela Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, 1996.

GARCÍA FERNÁNDEZ, J. L.; PRIETO GRANDA, F.; AGUILERA ROJAS, J.; JARAVA MELGAREJO, F.; GÓMEZ GRACÍA, E.; GARCÍA VELASCO, A. I.; Patrimonio urbanístico, arquitectónico y arqueológico del corredor Madrid Guadalajara. Madrid, Consejería de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente, Centro de Información y Documentación, 1984; págs. 117 y 233.

MADOZ, P.: Madrid, audiencia, provincia, intendencia, vicaría, partido y villa. Madrid, Comunidad de Madrid, ediciones Giner, 1981.

MARÍN PÉREZ, A.; Guía de Madrid y su provincia, tomo II. Madrid, Escuela tipográfica del Hospicio, 1889; pág. 155.

MARTIN CASTILLO, MARY; AGUADO BONET, AMBROSIO: Guía de Fiestas de la Comunidad de Madrid. Madrid, Comunidad de Madrid, Consejería de Agricultura y Cooperación, 1991.

MARTÍN GALÁN, M. M.; SÁNCHEZ BELÉN, J. A.; Ejecución de Transcripciones literales de los manuscritos de las respuestas al cuestionario enviado por el Cardenal Lorenzana, de los resúmenes de Tomás López, acerca de los términos de la actual provincia de Madrid. Comunidad de Madrid, Consejería de ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda, 1984. (Trabajo inédito)

VIÑAS Y MEY, C.; PAZ, R.; Relaciones histórico-geográfico-estadísticas de los pueblos de España, hechas por iniciativa de Felipe II: Provincia de Madrid. Madrid, C.S.I.C., Instituto Balnes de Sociología, Instituto Juan Sebastián Elcano de Geografía, 1949, págs. 600 y 601.

MATILDE BALAGUER PUIG; Análisis empírico de soluciones fotogramétricas en estudios de erosión hídrica en laboratorio; págs. 37 y 55.

YASUTAKA FURUKAWA, CARLOS HERNÁNDEZ; Multi-View Stereo: A Tutorial; págs. 9 y 13.



JOSÉ JUAN ARRANZ JUSTEL; Diseño, optimización y análisis de sistemas basados en técnicas láser, para el modelado geométrico, registro y documentación, aplicados a entidades de interés patrimonial; págs. 66 y 79.

DAVID MORALES ASEGURADO; Técnicas de reconstrucción en tres dimensiones y realización de un programa informático para el trabajo con los modelos; págs. 16, 17 y 19.

ISABEL LUIS RIVAS; Toma de datos fotogramétricos, reconstrucción virtual, realidad aumentada y difusión en la red de la iglesia nuestra señora de la Asunción; págs. 24 Y 25.

PAULA NÚÑEZ CALLEJA; Comparativa de software para la realización de ortofotos a partir de imágenes obtenidas por drones; pág. 41.

AIXA MIREIA MOLINA GARCÍA; Aplicación de la fotogrametría digital para la representación tridimensional del Acueducto de Puça en Petrer (Alicante); págs. 43 Y 46.

## 25. WEBS

[http://www.seguridadaerea.gob.es/lang\\_castellano/cias\\_empresas/trabajos/rpas/marco/default.aspx](http://www.seguridadaerea.gob.es/lang_castellano/cias_empresas/trabajos/rpas/marco/default.aspx)

<http://www.agisoft.com/>

<http://autodidactaengeomatica.blogspot.com.es/2016/04/levantamientos-fotogrametricos-para-la.html>

## BLOQUE VII

# ANEXOS

## LIBRETA DE CAMPO

Se adjunta a continuación los datos tomados en campo:

ESTACIÓN	VISADO		HORIZONTAL	VERTICAL	DISTANCIA	H INST	H PRISM
2000	1000	CD	201,2318	99,4823	37,723	1,442	1,485
2000	1000	CI	1,2348	300,5596	37,724	1,442	1,485
2000	1		176,8772	101,6190		1,442	
2000	2		191,7216	101,9324		1,442	
2000	3		162,5115	102,6079		1,442	
2000	4		183,3493	103,5767		1,442	
2000	5		141,4424	104,0904		1,442	
2000	6		119,3887	110,0826		1,442	
2000	51		176,1706	95,4255		1,442	
2000	52		172,7612	86,5797		1,442	
2000	53		163,8128	83,4623		1,442	
2000	54		119,5543	83,6016		1,442	
2000	55		161,0885	74,2062		1,442	
2000	56		158,8092	93,1736		1,442	
2000	57		147,2258	91,9176		1,442	
2000	201		217,3308	101,3417	35,771	1,442	
2000	202		328,9935	101,1813	4,669	1,442	
2000	203		100,6634	108,7495	13,486	1,442	
2000	204		43,7321	102,2401	44,660	1,442	
2000	205		12,9709	104,2401	50,455	1,442	
2000	206		386,0985	107,5321	41,860	1,442	
2000	207		231,4177	101,9837	51,342	1,442	
2000	208		213,0503	99,3606	78,418	1,442	
1000	2000	CD	41,5573	100,5639	37,725	1,485	1,442
1000	2000	CI	241,5570	299,4860	37,720	1,485	1,442
1000	1		135,0004	105,6988		1,485	
1000	2		118,8712	115,3903		1,485	
1000	3		91,1946	104,1345		1,485	
1000	4		64,0919	105,6214		1,485	
1000	5		72,4586	102,5700		1,485	
1000	6		54,4930	102,6988		1,485	
1000	51		137,0539	89,5070		1,485	
1000	52		120,8044	73,1120		1,485	
1000	53		96,8966	78,4979		1,485	
1000	54		73,6027	92,1530		1,485	
1000	55		110,8144	64,2131		1,485	
1000	56		77,7958	94,8659		1,485	
1000	57		72,6515	95,6240		1,485	
1000	3000	CD	143,4514	99,8496	37,339	1,485	1,494

*LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA)  
Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)*

1000	3000	CI	343,4377	300,1963	37,350	1,485	1,494
4000	2000	CD	118,8090	101,7423	40,029	1,430	PRISMA SUELO
4000	2000	CI	318,8062	298,2505	40,037	1,430	PRISMA SUELO
4000	3000	CD	16,8783	98,8483	34,897	1,430	1,494
4000	3000	CI	216,8881	301,2051	34,884	1,430	1,494
4000	58		41,5382	94,7496		1,430	
4000	59		44,4944	85,1374		1,430	
4000	60		52,7477	81,0177		1,430	
4000	61		103,8736	78,1767		1,430	
4000	62		53,5178	75,4871		1,430	
4000	54		108,7607	85,3933		1,430	
4000	11		26,3762	98,4206	35,459	1,430	1,620
4000	14		61,1325	104,6981	20,258	1,430	
4000	15		98,8726	112,2821	13,226	1,430	
4000	16		128,2160	113,0239	7,059	1,430	
3000	1000	CD	173,1627	100,1998	37,345	1,494	1,485
3000	1000	CI	373,162	299,8422	37,343	1,494	1,485
3000	51		177,5504	93,0466		1,494	
3000	58		178,1358	89,1367		1,494	
3000	59		196,4118	70,8772		1,494	
3000	60		223,9413	76,6100		1,494	
3000	61		249,8202	92,0138		1,494	
3000	62		196,4335	70,8736		1,494	
3000	4000	CD	275,7881	101,2035	34,875	1,494	1,430
3000	4000	CI	75,7897	298,8404	34,880	1,494	1,430
3000	12		180,0042	105,4960	12,985	1,494	
3000	11		173,4795	105,2425	5,408	1,494	
3000	13		258,2256	115,4095	16,509	1,494	
3000	15		251,1815	106,5090	33,698	1,494	
3000	209		315,9651	101,4717	49,364	1,494	
3000	210		304,7498	101,5104	87,242	1,494	1,62
3000	211		288,8882	101,5388	78,680	1,494	1,62
3000	212		275,018	101,6160	85,225	1,494	1,62

*Tabla 34: Libreta de campo.*

## EJEMPLO EXIF DE UNA FOTOGRAFIA.

Property	Value	Property	Value	Property	Value
File Name	DJI_0154.JPG	Camera Roll	+0.00	Flight X Speed	+0.00
File Size	5.3 MB	Flashpix Version	10	Flight Y Speed	-2.50
File Type	JPEG	Color Space	sRGB	Flight Z Speed	+0.00
File Type Extension	jpg	Exif Image Width	4000	Cam Reverse	0
MIME Type	image/jpeg	Exif Image Height	3000	Gimbal Reverse	0
Exif Byte Order	Little-endian (Intel, II)	Interoperability Index	R98 - DCF basic file (sRGB)	Version	7.0
Image Description	DCIM\100MEDIA\DJ_0154.JPG	Interoperability Version	100	Has Settings	False
Camera Model Name	FC330	Exposure Index	undef	Has Crop	False
Orientation	Horizontal (normal)	File Source	Digital Camera	Already Applied	False
X Resolution	72	Scene Type	Unknown (0)	MPF Version	10
Y Resolution	72	Custom Rendered	Normal	Number Of Images	2
Resolution Unit	inches	Exposure Mode	Auto	MP Image Flags	Dependent child image
Software	v01.19.5266	White Balance	Auto	MP Image Format	JPEG
Modify Date	2016:12:01 10:58:17	Digital Zoom Ratio	undef	MP Image Type	Large Thumbnail (VGA equivalent)
Y Cb Cr Positioning	Centered	Focal Length In 35mm Format	20 mm	MP Image Length	299763
Exposure Time	1/134	Scene Capture Type	Standard	MP Image Start	5213576
F Number	2.8	Gain Control	None	Dependent Image 1 Entry Number	0
Exposure Program	Program AE	Contrast	Normal	Dependent Image 2 Entry Number	0
ISO	100	Saturation	Normal	Image UID List	(Binary data 66 bytes, use -b option to extract)
Exif Version	230	Sharpness	Normal	Total Frames	1
Date/Time Original	2016:12:01 10:58:17	Device Setting Description	(Binary data 4 bytes, use -b option to extract)	Image Width	4000
Create Date	2016:12:01 10:58:17	Subject Distance Range	Unknown	Image Height	3000
Components Configuration	-, Cr, Cb, Y	GPS Version ID	0.0.0.0	Encoding Process	Baseline DCT, Huffman coding
Compressed Bits Per Pixel	3.436.662.667	GPS Latitude Ref	North	Bits Per Sample	8
Shutter Speed Value	1/134	GPS Longitude Ref	West	Color Components	3
Aperture Value	2.8	GPS Altitude Ref	Above Sea Level	Y Cb Cr Sub Sampling	YCbCr4:2:2 (2 1)
Exposure Compensation	0	XP Comment	0.91.142	Aperture	2.8

*LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA)  
Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)*

Max Aperture Value	2.8	XP Keywords	N	GPS Altitude	543.9 m Above Sea Level
Subject Distance	0 m	Serial Number	7bffff2e77ff335cff5a0e2b4844ff12	GPS Latitude	40 deg 31' 33.32" N
Metering Mode	Average	Compression	JPEG (old-style)	GPS Longitude	3 deg 16' 40.92" W
Light Source	Unknown	Thumbnail Offset	41984	GPS Position	40 deg 31' 33.32" N, 3 deg 16' 40.92" W
Flash	No flash function	Thumbnail Length	8262	Image Size	4000x3000
Focal Length	3.6 mm	About	DJI Meta Data	Preview Image	(Binary data 299763 bytes, use -b option to extract)
Make	DJI	Format	image/jpeg	Megapixels	12.0
Speed X	+0.00	Absolute Altitude	+543.98	Scale Factor To 35 mm Equivalent	5.5
Speed Y	-2.50	Relative Altitude	+39.90	Shutter Speed	1/134
Speed Z	+0.00	Gimbal Roll Degree	+0.00	Thumbnail Image	(Binary data 8262 bytes, use -b option to extract)
Pitch	-2.90	Gimbal Yaw Degree	-89.40	Circle Of Confusion	0.005 mm
Yaw	-89.50	Gimbal Pitch Degree	-90.00	Field Of View	84.0 deg
Roll	+2.30	Flight Roll Degree	+2.30	Focal Length	3.6 mm (35 mm equivalent: 20.0 mm)
Camera Pitch	-90.00	Flight Yaw Degree	-89.50	Hyperfocal Distance	0.86 m
Camera Yaw	-89.40	Flight Pitch Degree	-2.90	Light Value	10.0

	Estacion	Visado	Horizontal	Diff	H Promedio	Vertical	Diff	V Promedio	Dist	Diff	D Promedio	h Prisma	h prisma	h Est	h Est
ESTACION A	2000	1000	201.2318	0.0030	201.2333	99.4823	0.0419	99.4614	37.723	0.001	37.724	1.485	1.485	1.442	1.442
ESTACION A	2000	1000	1.2348			300.5596			37.724			1.485		1.442	
ESTACION B	1000	2000	41.5573	0.0003	41.5572	100.5639	0.0499	100.5390	37.725	0.005	37.723	1.442	1.442	1.485	1.485
ESTACION B	1000	2000	241.5570			299.4860			37.72			1.442		1.485	
ESTACION B	1000	3000	143.4514	0.0063	143.4546	99.8496	0.0459	99.8267	37.339	0.011	37.345	1.494	1.494	1.485	1.485
ESTACION B	1000	3000	343.4577			300.1963			37.350			1.494		1.485	
ESTACION A	3000	1000	173.1627	0.0007	173.1624	100.1998	0.0420	100.1788	37.345	0.002	37.344	1.485	1.485	1.494	1.494
ESTACION A	3000	1000	373.162			299.8422			37.343			1.485		1.494	
ESTACION A	3000	4000	275.7881	0.0016	275.7889	101.2035	0.0439	101.1816	34.875	0.005	34.878	1.43	1.430	1.494	1.494
ESTACION A	3000	4000	75.7897			298.8404			34.88			1.43		1.494	
ESTACION B	4000	3000	16.8783	0.0098	16.8832	98.8483	0.0534	98.8216	34.897	0.013	34.891	1.494	1.494	1.43	1.430
ESTACION B	4000	3000	216.8881			301.2051			34.884			1.494		1.43	
ESTACION B	4000	2000	118.809	0.0028	118.8076	101.7423	0.0072	101.7459	40.029	0.008	40.033	0.1	0.100	1.43	1.430
ESTACION B	4000	2000	318.8062			298.2505			40.037			0.1		1.43	

Estacion	Visado	Horizontal	Vertical	Dg	h Prisma	h Est
2000	1000	201.2333	99.4614	37.724	1.485	1.442
1000	2000	41.5572	100.5390	37.723	1.442	1.485
1000	3000	143.4546	99.8267	37.345	1.494	1.485
3000	1000	173.1624	100.1788	37.344	1.485	1.494
3000	4000	275.7889	101.1816	34.878	1.430	1.494
4000	3000	16.8832	98.8216	34.891	1.494	1.430
4000	2000	118.8076	101.7459	40.033	0.100	1.430

Calculo de la incertidumbre angular

lectura	10 cc
punteria	20 cc
verticalidad	5 cc

Arrastre de Azimuts

Estación	Visado	Hz	Desor'	Desor	Acimut'	Acimut
2000	1000	201.2333		0	201.2333	201.2333
1000	2000	41.5572	-40.3239	359.6762	401.2333	1.2333
1000	3000	143.4546		359.6762	503.1307	103.1307
3000	1000	173.1624	129.9684	129.9684	303.1307	303.1307
3000	4000	275.7889		129.9684	405.7573	5.7573
4000	3000	16.8832	188.8741	188.8741	205.7573	205.7573
4000	2000	118.8076		188.8741	307.6817	307.6817

Número	E	N	H
2000	2000	2000	600

Apreciación	10 cc	
Sensibilidad	60 cc	
Aumentos	30	
e_e	5 mm	0.005 m
e_s	5 mm	0.005 m
e_i	1 mm	1.5 ppm
k ref	0.13	

longitud de la poligonal	149.984 m
tramos	4
vertices	5
distancia media	37.496 m
rcc	636620

Radio tierra	6378000
--------------	---------

Calculo de la altimetria

Estacion	Visado	V	Dg	m	i	AH	DIF	e_t_v	e_rel	e_desnivel	Tol (m)	tol?	promedio	correccion	Desnivel_corr	cotas	
2000	1000	99.4614	37.72	1.4850	1.442	0.276		1.32	0.03	7.19	0.010	SI				600.000	2000
1000	2000	100.5390	37.72	1.4420	1.485	-0.276	0.000						0.2763	-0.005		600.271	1000
1000	3000	99.8267	37.34	1.4940	1.485	0.093		1.31	0.03	7.19	0.010	SI	0.0943	-0.005	0.0892	600.360	3000
3000	1000	100.1788	37.34	1.4850	1.494	-0.096	-0.003										
3000	4000	101.1816	34.88	1.4300	1.494	-0.583		1.23	0.02	7.18	0.010	SI	-0.5825	-0.005	-0.5873	599.773	4000
4000	3000	98.8216	34.89	1.4940	1.430	0.582	-0.001										
4000	2000	101.7459	40.03	0.1000	1.430	0.232	0.000	1.41	0.03	7.21	0.010	SI	0.2323	-0.005	0.2269	600.000	2000

Incertidumbre del desnivel

e_a	22.4 cc	600.000										suma	0.020 m
e_t_v	1.3 mm	600.276										Real	0.000 m
e_i	5 mm	600.371										Error	0.020 m
e_m	5 mm	599.788										Tol	0.032 m
e_rel	0.03 mm	600.020										TOL	0.032 m
e_desnivel	7.2 mm											Tol?	SI
tol	10 mm												

calculo de distancias reducidas

Estacion	Visado	V	Dg	i	cotas	w	r	D est	D elip	diff	e dis	tol	tol?	promedio	
2000	1000	99.4614	37.724	1.485	600.000	0.0003765	4.8950E-05	37.722	37.719		0.001	0.001	SI	37.718	-0.00512
1000	2000	100.5390	37.723	1.442	600.271	0.0003765	4.8949E-05	37.721	37.718						
1000	3000	99.8267	37.345	1.494	600.271	0.0003728	4.8458E-05	37.344	37.341		0.001	0.001	SI	37.341	-0.005069
3000	1000	100.1788	37.344	1.485	600.360	0.0003727	4.8457E-05	37.344	37.340						
3000	4000	101.1816	34.878	1.430	600.360	0.0003481	4.5257E-05	34.871	34.868		0.001	0.001	NO	34.875	-0.004734
4000	3000	98.8216	34.891	1.494	599.773	0.0003483	4.5274E-05	34.885	34.881						
4000	2000	101.7459	40.033	0.100	599.773	0.0003996	5.1947E-05	40.018	40.014		0.000	0.001	SI	40.014	-0.005432
										PROMEDIO	-0.003			149.948	-0.000136

Calculo de los incrementos de coordenadas

Estacion	Visado	Acimut	DIST	AE	AN	CE	CN	AE_CORR	AN_CORR	ESTE	NORTE
2000	1000	201.2333	37.718	-0.731	-37.711	0.002	-0.001	-0.728	-37.712	2000.000	2000.000
1000	3000	103.1307	37.341	37.295	-1.836	0.002	-0.001	37.298	-1.836	1999.272	1962.288
3000	4000	5.7573	34.875	3.150	34.732	0.002	-0.001	3.152	34.732	2036.569	1960.452
4000	2000	307.6817	40.014	-39.723	4.817	0.002	-0.001	-39.721	4.816	2039.721	1995.184
		SUMA	149.948	-0.009	0.002		suma	0.000	0.000	2000.000	2000.000
		REAL		0.000	0.000						
		ERROR		-0.009	0.002						
		TOTAL		0.009							
		TOL?		SI							

e_i	1.1 mm						
e_e	5 mm						
e_s	5 mm						
e_j	0.0 mm		error longitudinal	0.010 m			
e_D	7.1 mm		error transversal	m			
Tol	10.1 mm		error maximo	0.010 m			

Coordenadas finales

Numero	ESTE	NORTE	H
2000	2000.000	2000.000	600.000
1000	1999.272	1962.288	600.271
3000	2036.569	1960.452	600.360
4000	2039.721	1995.184	599.773



Número	E	N
2000	2000,000	2000,000
1000	1999,272	1962,288
3000	2036,569	1960,452
4000	2039,721	1995,184
rcc		
636620		

Estación	Visado	Horizontal
2000	1	176,8772
2000	2	191,7216
2000	3	162,5115
2000	4	183,3493
2000	5	141,4424
2000	6	119,3887
2000	51	176,1706
2000	52	172,7612
2000	53	163,8128
2000	54	119,5543
2000	55	161,0885
2000	56	158,8092
2000	57	147,2258
1000	1	135,0004
1000	2	118,8712
1000	3	91,1946
1000	4	64,0919
1000	5	72,4586
1000	6	54,493
1000	51	137,0539
1000	52	120,8044
1000	53	96,8966
1000	54	73,6027
1000	55	110,8144
1000	56	77,7958
1000	57	72,6515
4000	58	41,5382
4000	59	44,4944
4000	60	52,7477
4000	61	103,8736
4000	62	53,5178
4000	54	108,7607
4000	11	26,3762
4000	15	98,8726
3000	51	177,5504
3000	58	178,1358
3000	59	196,4118
3000	60	223,9413
3000	61	249,8202
3000	62	196,4335
3000	11	173,4795
3000	15	251,1815

Estacion	Visado	Horizontal
2000	1000	201,2333
1000	2000	41,5572
1000	3000	143,4546
3000	1000	173,1624
3000	4000	275,7889
4000	3000	16,8832
4000	2000	118,8076

Características del instrumental utilizado:		
Error estación	5	mm
Error señal	5	mm
Error verticalidad	5	cc
Error lectura	10	cc
Error puntería	20	cc

Cálculo de acimuts

Estación	Visado	Horizontal	AE	AN	AZIMUT CAL'	AZIMUT CAL	AZIMUT OBS'	AZIMUT OBS	DIFF cc	DISTANCIA	Error dir (cc)	Error ang (cc)
2000	1	176,8772	13,871	-36,488	-23,1266	176,8734	576,8734	176,8734	0,00	39,036	115,32	117,57
2000	2	191,7216	4,686	-35,815	-8,2822	191,7178	591,7178	191,7178	0,00	36,120	124,63	126,72
2000	3	162,5115	14,981	-22,426	-37,4923	162,5077	562,5077	162,5077	0,00	26,970	166,91	168,48
2000	4	183,3493	5,702	-21,296	-16,6545	183,3455	583,3455	183,3455	0,00	22,046	204,19	205,47
2000	5	141,4424	14,152	-10,779	-58,5614	141,4386	541,4386	141,4386	0,00	17,790	253,04	254,08
2000	6	119,3887	7,288	-2,291	-80,6151	119,3849	519,3849	119,3849	0,00	7,640	589,22	589,67
2000	51	176,1706	14,509	-36,928	-23,8332	176,1668	576,1668	176,1668	0,00	39,676	113,46	115,75
2000	52	172,7612	14,938	-32,752	-27,2426	172,7574	572,7574	172,7574	0,00	35,998	125,05	127,13
2000	53	163,8128	15,613	-24,439	-36,1910	163,8090	563,8090	163,8090	0,00	29,000	155,22	156,91
2000	54	119,5543	17,757	-5,631	-80,4495	119,5505	519,5505	119,5505	0,00	18,629	241,65	242,73
2000	55	161,0885	19,384	-27,659	-38,9153	161,0847	561,0847	161,0847	0,00	33,775	133,28	135,24
2000	56	158,8092	12,979	-17,177	-41,1946	158,8054	558,8054	158,8054	0,00	21,530	209,09	210,34
2000	57	147,2258	13,416	-12,294	-52,7780	147,2220	547,2220	147,2220	0,00	18,197	247,38	248,44
1000	1	135,0004	14,599	1,223	94,6773	14,6773	494,6773	94,6773	0,00	14,650	307,27	308,12
1000	2	118,8712	5,414	1,897	78,5481	78,5481	478,5481	78,5481	0,00	5,737	784,67	785,01
1000	3	91,1946	15,709	15,285	50,8715	50,8715	450,8715	50,8715	0,00	21,918	205,38	206,65
1000	4	64,0919	6,430	16,415	23,7688	23,7688	423,7688	23,7688	0,00	17,630	255,34	256,37
1000	5	72,4586	14,881	26,932	32,1355	32,1355	432,1355	32,1355	0,00	30,770	146,30	148,08
1000	6	54,493	8,017	35,421	14,1699	14,1699	414,1699	14,1699	0,00	36,317	123,95	126,05
1000	51	137,0539	15,238	0,783	96,7308	96,7308	496,7308	96,7308	0,00	15,258	295,04	295,93
1000	52	120,8044	15,667	4,960	80,4813	80,4813	480,4813	80,4813	0,00	16,433	273,93	274,89
1000	53	96,8966	16,341	13,272	56,5735	56,5735	456,5735	56,5735	0,00	21,052	213,83	215,06
1000	54	73,6027	18,485	32,080	33,2796	33,2796	433,2796	33,2796	0,00	37,025	121,58	123,72
1000	55	110,8144	20,112	10,053	70,4913	70,4913	470,4913	70,4913	0,00	22,485	200,21	201,51
1000	56	77,7958	13,708	20,534	37,4727	37,4727	437,4727	37,4727	0,00	24,689	182,33	183,76
1000	57	72,6515	14,145	25,418	32,3284	32,3284	432,3284	32,3284	0,00	29,088	154,75	156,44
4000	58	41,5382	-17,059	-32,951	30,4118	230,4118	230,4118	230,4118	0,00	37,105	121,32	123,47
4000	59	44,4944	-16,646	-28,795	33,3680	233,3680	233,3680	233,3680	0,00	33,260	135,34	137,27
4000	60	52,7477	-15,719	-20,516	41,6213	241,6213	241,6213	241,6213	0,00	25,845	174,17	175,67
4000	61	103,8736	-14,034	-1,606	92,7472	292,7472	292,7472	292,7472	0,00	14,126	318,67	319,50
4000	62	53,5178	-21,082	-26,836	42,3914	242,3914	242,3914	242,3914	0,00	34,127	131,91	133,88
4000	54	108,7607	-21,964	-0,815	97,6378	297,6378	297,6343	297,6343	34,69	21,979	204,81	206,09
4000	11	26,3762	-8,413	-34,446	15,2498	215,2498	215,2498	215,2498	0,00	35,459	126,95	129,00
4000	15	98,8726	-12,974	-2,528	87,7462	287,7462	287,7462	287,7462	0,00	13,218	340,57	341,34
3000	51	177,5504	-22,060	2,619	-92,4764	307,5236	307,5226	307,5226	10,25	22,215	202,64	203,93
3000	58	178,1358	-13,907	1,781	-91,8920	308,1080	308,1080	308,1080	0,00	14,021	321,07	321,89
3000	59	196,4118	-13,494	5,936	-73,6160	326,3840	326,3840	326,3840	0,00	14,742	305,35	306,21
3000	60	223,9413	-12,567	14,216	-46,0865	353,9135	353,9135	353,9135	0,00	18,975	237,24	238,35
3000	61	249,8202	-10,883	33,126	-20,2076	379,7924	379,7924	379,7924	0,00	34,868	129,10	131,12
3000	62	196,4335	-17,930	7,895	-73,5943	326,4057	326,4057	326,4057	0,00	19,592	229,77	230,91
3000	11	173,4795	-5,261	0,286	-96,5483	303,4517	303,4517	303,4517	0,00	5,269	854,36	854,66
3000	15	251,1815	-9,822	32,203	-18,8463	381,1537	381,1537	381,1537	0,00	33,668	133,71	135,66
2000	1000	201,2333	-0,728	-37,712	1,2295	201,2295	601,2295	201,2295	0,00	37,719	119,35	121,53
1000	2000	41,5572	0,728	37,712	1,2295	1,2295	401,2340	1,2340	-45,07	37,719	119,35	121,53
1000	3000	143,4546	37,298	-1,836	-96,8686	103,1314	503,1314	103,1314	0,00	37,343	120,55	122,71
3000	1000	173,1624	-37,298	1,836	-96,8686	303,1314	303,1345	303,1345	-30,94	37,343	120,55	122,71
3000	4000	275,7889	3,152	34,732	5,7611	405,7611	5,7611	5,7611	0,00	34,874	129,08	131,10
4000	3000	16,8832	-3,152	-34,732	5,7611	205,7611	205,7568	205,7568	42,85	34,874	129,08	131,10
4000	2000	118,8076	-39,721	4,816	-92,3188	307,6812	307,6812	307,6812	0,00	40,012	112,51	114,82

Cálculo de las desorientaciones

Estación	Visado	Horizontal	AE	AN	Acimut'	Acimut	Desor'	Desor
2000	1000	201,2333	-0,728	-37,712	1,2295	201,2295	-0,0038	399,9962
1000	3000	143,4546	37,298	-1,836	-96,8686	103,1314	-40,3231	359,6769
3000	4000	275,7889	3,152	34,732	5,7611	5,7611	-270,0278	129,9722
4000	2000	118,8076	-39,721	4,816	-92,3188	307,6812	188,8736	188,8736

las coordenas aproximadas

Estación	Visado	E	N	Desor	Horizontal	Acimut'	Acimut	Tan(Acimut)	Este	Norte
2000	1	2000,000	2000,000	399,9962	176,8772	576,8734	176,8734	-0,380142353	2013,871	1963,512
1000	1	1999,272	1962,288	359,6769	135,0004	494,6773	94,6773	11,9325441		
2000	2	2000,000	2000,000	399,9962	191,7216	591,7178	191,7178	-0,130835067	2004,686	1964,185
1000	2	1999,272	1962,288	359,6769	118,8712	478,5481	78,5481	2,854477479		
2000	3	2000,000	2000,000	399,9962	162,5115	562,5077	162,5077	-0,668003139	2014,981	1977,574
1000	3	1999,272	1962,288	359,6769	91,1946	450,8715	50,8715	1,027760168		
2000	4	2000,000	2000,000	399,9962	183,3493	583,3455	183,3455	-0,267743952	2005,702	1978,704
1000	4	1999,272	1962,288	359,6769	64,0919	423,7688	23,7688	0,391732719		
2000	5	2000,000	2000,000	399,9962	141,4424	541,4386	141,4386	-1,312936605	2014,152	1989,221
1000	5	1999,272	1962,288	359,6769	72,4586	432,1355	32,1355	0,552529242		
2000	6	2000,000	2000,000	399,9962	119,3887	519,3849	119,3849	-3,181964997	2007,288	1997,709
1000	6	1999,272	1962,288	359,6769	54,493	414,1699	14,1699	0,226329994		
2000	51	2000,000	2000,000	399,9962	176,1706	576,1668	176,1668	-0,392899884	2014,509	1963,072
1000	51	1999,272	1962,288	359,6769	137,0539	496,7308	96,7308	19,4560317		
2000	52	2000,000	2000,000	399,9962	172,7612	572,7574	172,7574	-0,456112415	2014,938	1967,248
1000	52	1999,272	1962,288	359,6769	120,8044	480,4813	80,4813	3,158739988		
2000	53	2000,000	2000,000	399,9962	163,8128	563,8090	163,8090	-0,63885326	2015,613	1975,561
1000	53	1999,272	1962,288	359,6769	96,8966	456,5735	56,5735	1,231207924		
2000	54	2000,000	2000,000	399,9962	119,5543	519,5505	119,5505	-3,153263969	2017,757	1994,369
1000	54	1999,272	1962,288	359,6769	73,6027	433,2796	33,2796	0,576225055		
2000	55	2000,000	2000,000	399,9962	161,0885	561,0847	161,0847	-0,700825408	2019,384	1972,341
1000	55	1999,272	1962,288	359,6769	110,8144	470,4913	70,4913	2,000628922		
2000	56	2000,000	2000,000	399,9962	158,8092	558,8054	158,8054	-0,755611609	2012,979	1982,823
1000	56	1999,272	1962,288	359,6769	77,7958	437,4727	37,4727	0,667558127		
2000	57	2000,000	2000,000	399,9962	147,2258	547,2220	147,2220	-1,091315298	2013,416	1987,706
1000	57	1999,272	1962,288	359,6769	72,6515	432,3284	32,3284	0,556490997		
4000	58	2039,721	1995,184	188,8736	41,5382	230,4118	230,4118	0,517700204	2022,662	1962,233
3000	58	2036,569	1960,452	129,9722	178,1358	308,1080	308,1080	-7,809272717		
4000	59	2039,721	1995,184	188,8736	44,9944	233,3680	233,3680	0,578076366	2023,075	1966,389
3000	59	2036,569	1960,452	129,9722	196,4118	326,3840	326,3840	-2,273148745		
4000	60	2039,721	1995,184	188,8736	52,7477	241,6213	241,6213	0,766195181	2024,002	1974,668
3000	60	2036,569	1960,452	129,9722	223,9413	353,9135	353,9135	-0,884036987		
4000	61	2039,721	1995,184	188,8736	103,8736	292,7472	292,7472	8,739552993	2025,686	1993,578
3000	61	2036,569	1960,452	129,9722	249,8022	379,7924	379,7924	-0,328529197		
4000	62	2039,721	1995,184	188,8736	53,1718	242,3914	242,3914	0,785573869	2018,639	1968,348
3000	62	2036,569	1960,452	129,9722	196,4335	326,4057	326,4057	-2,271048201		
4000	11	2039,721	1995,184	188,8736	26,3762	215,2498	215,2498	0,244232555	2031,308	1960,738
3000	11	2036,569	1960,452	129,9722	173,4795	303,4517	303,4517	-18,42571153		
4000	15	2039,721	1995,184	188,8736	98,8726	287,7462	287,7462	5,130960852	2026,747	1992,656
3000	15	2036,569	1960,452	129,9722	251,1815	381,1537	381,1537	-0,30499973		

[illegible][illegible]

MATRIZ N																														PRECISIONES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
0.0018903	-1.1177e-05	4.70071e-05	1.54835e-05	2.84644e-05	2.7347e-05	1.94911e-05	4.19331e-05	1.57124e-05	1.8133e-05	7.9071e-06	8.92472e-06	5.75990e-05	2.72328e-06	4.7649e-05	1.29391e-05	4.32257e-06	1.75315e-05	1.95989e-05	2.21441e-05	1.58146e-05	1.87390e-05	3.03296e-06	7.846727e-07	-2.30578e-06	1.467222e-06	-1.10131e-06	2.03132e-06	6.24999e-07	1.23876e-06	-2.29579e-06	1.612821e-06	-2.92159e-06	3.069338e-07	6.15929e-07	1.225576e-06	-8.85061	0.011005	0.025266	0.017006	0.0006	0.0022	0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
-1.1177e-05	5.18908e-06	2.84129e-06	-1.26131e-06	6.18646e-06	-6.69318e-06	1.99047e-06	2.51848e-06	9.94747e-06	1.87874e-06	8.57578e-06	1.80390e-06	2.03818e-06	1.86353e-06	4.60778e-06	-7.61299e-06	9.54045e-06	8.107758e-06	2.80790e-06	-4.65334e-06	7.54719e-06	-2.895957e-06	6.15711e-06	-4.52977e-06	4.45847e-06	-1.42681e-06	1.614177e-06	7.42434e-06	3.222237e-06	-4.10192e-06	5.180777e-06	-4.98817e-06	1.191595e-06	-4.529778e-06	1.41899e-06	-0.0562	-0.0593	0.011979	0.010825	0.0004	0.004	0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
2.84129e-06	-1.26131e-06	6.18646e-06	-6.69318e-06	1.99047e-06	2.51848e-06	9.94747e-06	1.87874e-06	8.57578e-06	1.80390e-06	2.03818e-06	1.86353e-06	4.60778e-06	-7.61299e-06	9.54045e-06	8.107758e-06	2.80790e-06	-4.65334e-06	7.54719e-06	-2.895957e-06	6.15711e-06	-4.52977e-06	4.45847e-06	-1.42681e-06	1.614177e-06	7.42434e-06	3.222237e-06	-4.10192e-06	5.180777e-06	-4.98817e-06	1.191595e-06	-4.529778e-06	1.41899e-06	-0.0562	-0.0593	0.011979	0.010825	0.0004	0.004	0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
1.54835e-05	2.84219e-06	2.37841e-05	6.25364e-05	6.73535e-05	6.91572e-05	4.73711e-05	1.99047e-05	1.42855e-05	7.70431e-05	-2.13331e-05	3.82015e-05	1.62718e-05	3.16367e-05	1.30462e-05	5.55155e-05	1.79973e-05	8.67254e-05	4.83473e-05	4.42828e-05	-1.0964e-05	7.54719e-05	3.70987e-05	9.13774e-05	1.180298e-05	8.05361e-06	-1.10244e-05	3.57282e-05	8.30355e-05	6.11487e-05	3.752767e-05	4.02085e-05	4.84102e-05	-0.02489e-05	1.988611e-05	3.851151e-05	4.90494e-05	-0.25045	-0.05128	0.011657	0.009733	0.0004	0.0016	0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
2.84644e-05	-1.26131e-06	2.7355e-05	6.73535e-05	6.94598e-05	1.037e-05	1.09917e-05	1.06947e-05	5.8782e-05	9.7571e-05	2.60012e-05	2.95567e-05	-2.81269e-05	2.48724e-05	3.59844e-05	1.80126e-05	7.90206e-05	1.49891e-05	4.97121e-05	2.37444e-05	1.54111e-05	1.239175e-05	7.53225e-05	1.15644e-05	1.04776e-05	-2.11896e-05	2.20408e-05	9.43062e-05	4.91612e-05	-0.50137e-05	1.02844e-05	2.37709e-05	4.5482e-05	-0.79035e-05	5.287977e-05	-1.14449e-05	8.71098e-05	3.35161e-05	4.66311e-05	-0.42645	0.157913	0.020323	0.003156	0.0006	0.0015	0.001																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
2.7347e-05	6.18688e-06	2.0535e-05	1.03752e-05	1.0375e-05	7.888823e-05	9.519358e-05	1.019717e-05	1.494131e-05	1.491935e-05	9.06211e-05	2.60012e-05	1.930411e-05	1.87787e-05	1.094242e-05	1.54111e-05	1.30041e-05	3.04531e-05	1.74382e-05	2.97302e-05	1.57771e-05	1.39944e-05	7.12989e-05	1.47232e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	9.80674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05	8.98058e-05	1.17496e-05	1.17531e-05	1.03018e-05	9.00674e-05</

LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)

Número	Este	Norte
1	2013,870	1963,512
2	2004,685	1964,185
3	2014,980	1977,574
4	2005,702	1978,704
5	2014,152	1989,221
6	2007,287	1997,710
51	2014,509	1963,072
52	2014,938	1967,249
53	2015,612	1975,561
54	2017,756	1994,368
55	2019,383	1972,342
56	2012,979	1982,823
57	2013,416	1987,707
58	2022,663	1962,233
59	2023,076	1966,389
60	2024,002	1974,668
61	2025,688	1993,578
62	2018,640	1968,348
11	2031,309	1960,738
15	2026,748	1992,656

1	Este	2013,870	±	0,002 m
	Norte	1963,512	±	0,001 m
2	Este	2004,685	±	0,002 m
	Norte	1964,185	±	0,002 m
3	Este	2014,980	±	0,002 m
	Norte	1977,574	±	0,002 m
4	Este	2005,702	±	0,001 m
	Norte	1978,704	±	0,004 m
5	Este	2014,152	±	0,002 m
	Norte	1989,221	±	0,002 m
6	Este	2007,287	±	0,002 m
	Norte	1997,710	±	0,002 m
51	Este	2014,509	±	0,002 m
	Norte	1963,072	±	0,001 m
52	Este	2014,938	±	0,002 m
	Norte	1967,249	±	0,001 m
53	Este	2015,612	±	0,002 m
	Norte	1975,561	±	0,002 m
54	Este	2017,756	±	0,002 m
	Norte	1994,368	±	0,001 m
55	Este	2019,383	±	0,002 m
	Norte	1972,342	±	0,002 m
56	Este	2012,979	±	0,001 m
	Norte	1982,823	±	0,002 m
57	Este	2013,416	±	0,001 m
	Norte	1987,707	±	0,002 m
58	Este	2022,663	±	0,002 m
	Norte	1962,233	±	0,001 m
59	Este	2023,076	±	0,002 m
	Norte	1966,389	±	0,001 m
60	Este	2024,002	±	0,001 m
	Norte	1974,668	±	0,002 m
61	Este	2025,688	±	0,002 m
	Norte	1993,578	±	0,001 m
62	Este	2018,640	±	0,002 m
	Norte	1968,348	±	0,001 m
11	Este	2031,309	±	0,002 m
	Norte	1960,738	±	0,001 m
15	Este	2026,748	±	0,002 m
	Norte	1992,656	±	0,001 m

Estación	Visado	Vertical	Mira	Instrumento
2000	1	101.619	0	1.442
2000	2	101.9324	0	1.442
2000	3	102.6079	0	1.442
2000	4	103.5767	0	1.442
2000	5	104.7004	0	1.442
2000	6	110.0826	0	1.442
2000	51	95.4255	0	1.442
2000	52	86.5797	0	1.442
2000	53	83.4623	0	1.442
2000	54	83.6016	0	1.442
2000	55	74.2062	0	1.442
2000	56	93.1736	0	1.442
2000	57	91.9176	0	1.442
1000	1	105.6988	0	1.485
1000	2	115.3903	0	1.485
1000	3	104.1245	0	1.485
1000	4	105.6214	0	1.485
1000	5	102.57	0	1.485
1000	6	102.6988	0	1.485
1000	51	89.507	0	1.485
1000	52	73.112	0	1.485
1000	53	78.4979	0	1.485
1000	54	92.153	0	1.485
1000	55	64.2131	0	1.485
1000	56	94.8659	0	1.485
1000	57	95.624	0	1.485
4000	58	94.7496	0	1.43
4000	59	85.1374	0	1.43
4000	60	81.0177	0	1.43
4000	61	78.1767	0	1.43
4000	62	75.4871	0	1.43
4000	54	85.3933	0	1.43
4000	11	98.4206	1.62	1.43
4000	15	112.2821	0	1.43
3000	51	93.0466	0	1.494
3000	58	89.1367	0	1.494
3000	59	70.8772	0	1.494
3000	60	76.61	0	1.494
3000	61	92.0138	0	1.494
3000	62	70.8736	0	1.494
3000	11	105.2425	0	1.494
3000	15	106.509	0	1.494

Punto	Este	Norte	Altura
2000	2000.000	2000.000	600.000
1000	1999.272	1962.288	600.271
3000	2036.569	1960.452	600.360
4000	2039.721	1995.184	599.773
1	2013.870	1963.512	600.341
2	2004.685	1964.185	600.341
3	2014.980	1977.574	600.341
4	2005.702	1978.704	600.341
5	2014.152	1989.221	600.341
6	2007.287	1997.710	600.341
51	2014.509	1963.072	600.341
52	2014.938	1967.249	600.341
53	2015.612	1975.561	600.341
54	2017.756	1994.368	600.341
55	2019.383	1972.342	600.341
56	2012.979	1982.823	600.341
57	2013.416	1987.707	600.341
58	2022.663	1962.233	600.341
59	2023.076	1966.389	600.341
60	2024.002	1974.668	600.341
61	2025.688	1993.578	600.341
62	2018.640	1968.348	600.341
11	2031.309	1960.738	600.341
15	2026.748	1992.656	600.341
RT	rc	SA (cc)	Kr
6378000	636620	22.4	0.13
			0.05

Comparación de las más discrepantes			
Estación	Visado	Altitud	desv_tip_abs
2000	54	606.350	0.05
1000	54	606.343	0.05
4000	54	606.337	0.05
	Diff	0.013	
	TOL	0.071	
	TOL?	SI	
Estación	Visado	Altitud	desv_tip_abs
2000	51	604.298	0.05
1000	51	604.294	0.05
3000	51	604.290	0.05
	Diff	0.008	
	TOL	0.071	
	TOL?	SI	

Compensación											
Estación	Visado	Altitud	desv_tip_rel	Var	Peso	Valor	Peso suma	Valor suma	Valor Comp	Res	Res*Res
2000	1	600.449	0.0014	0.0000019	529727.464	318074327.1	4292385.801	2577328569	600.442	0.007	0.00005
1000	1	600.441	0.0005	0.0000003	3762658.337	2259254242				-0.001	0.00000
2000	2	600.345	0.0013	0.0000016	618725.788	371449048.5	25159173.701	15104095945	600.341	0.004	0.00001
1000	2	600.341	0.0002	0.0000000	24540447.912	14732646897				0.000	0.00000
2000	3	600.336	0.0009	0.0000009	1110037.253	666395872.3	2790775.237	1675393968	600.333	0.004	0.00001
1000	3	600.330	0.0008	0.0000006	1680737.984	1008998095				-0.002	0.00001
2000	4	600.202	0.0008	0.0000006	1661336.385	997137401	4259258.564	2556397418	600.198	0.004	0.00002
1000	4	600.195	0.0006	0.0000004	2597922.179	1559260017				-0.003	0.00001
2000	5	600.297	0.0006	0.0000004	2551700.576	1531779066	3404392.632	2043831776	600.351	-0.054	0.00292
1000	5	600.513	0.0011	0.0000012	852692.056	512052709.7				0.162	0.02614
2000	6	600.222	0.0003	0.0000001	13839823.749	8306954842	14451852.778	8674314075	600.222	0.000	0.00000
1000	6	600.215	0.0013	0.0000016	612029.030	367349233.3				-0.006	0.00004
2000	51	604.298	0.0014	0.0000020	512744.362	309850470.4	5617784.992	3394789990	604.293	0.005	0.00002
1000	51	604.294	0.0005	0.0000003	3469016.258	2096305675				0.001	0.00000
3000	51	604.290	0.0008	0.0000006	1636024.371	988633844.5				-0.003	0.00001
2000	52	609.146	0.0013	0.0000016	622957.591	379471856.7	3613303.732	2201016097	609.142	0.003	0.00001
1000	52	609.142	0.0006	0.0000003	2990346.141	1821544240				-0.001	0.00000
2000	53	609.150	0.0010	0.0000010	959992.793	584779890.4	2781969.195	1694637395	609.150	0.000	0.00000
1000	53	609.150	0.0007	0.0000005	1821976.403	1109857505				0.000	0.00000
2000	54	606.350	0.0007	0.0000004	2327140.237	1411060677	4587270.079	2781464866	606.344	0.005	0.00003
1000	54	606.343	0.0013	0.0000017	588871.613	357058337.9				-0.001	0.00000
4000	54	606.337	0.0008	0.0000006	1671258.229	1013345850				-0.007	0.00005
2000	55	615.929	0.0012	0.0000014	707705.579	435896367.6	2304871.963	1419624613	615.923	0.006	0.00003
1000	55	615.921	0.0008	0.0000006	1597166.384	983728245.3				-0.002	0.00001
2000	56	603.760	0.0008	0.0000006	1742094.282	1051806198	3066671.567	1851521878	603.756	0.003	0.00001
1000	56	603.752	0.0009	0.0000008	1324577.285	799715680				-0.005	0.00002
2000	57	603.765	0.0006	0.0000004	2438771.985	147244857	3392922.049	2048521392	603.763	0.002	0.00000
1000	57	603.759	0.0010	0.0000010	954150.065	576076534.8				-0.004	0.00002
4000	58	603.137	0.0008	0.0000007	1475650.607	890019110.7	5584062.746	3372609542	603.971	-0.834	0.69525
3000	58	604.270	0.0005	0.0000002	4108412.138	2482590432				0.299	0.08969
4000	59	609.113	0.0012	0.0000014	729756.789	444504259.4	4445602.211	2707869726	609.112	0.001	0.00000
3000	59	609.112	0.0005	0.0000003	3715845.422	2263365467				0.000	0.00000
4000	60	609.147	0.0009	0.0000008	1208743.724	736302407	3451609.129	2102560885	609.154	-0.007	0.00005
3000	60	609.158	0.0007	0.0000004	2242865.405	1366258478				0.004	0.00001
4000	61	606.245	0.0005	0.0000002	4047444.114	2453740818	4711446.755	2856293420	606.246	-0.001	0.00000
3000	61	606.252	0.0012	0.0000015	664002.642	402552601.6				0.006	0.00004
4000	62	615.035	0.0012	0.0000014	693164.408	426320307.7	2797026.976	1712833696	612.377	2.658	7.06693
3000	62	611.501	0.0007	0.0000005	2103862.568	1286513388				-0.876	0.76713
4000	11	600.463	0.0012	0.0000016	642039.614	385521012.3	29738226.303	17884524475	601.398	-0.936	0.87521
3000	11	601.419	0.0002	0.0000000	29096186.689	17499003463				0.021	0.00043
4000	15	598.621	0.0005	0.0000002	4622866.300	2767343879	5335058.968	3193519529	598.591	0.030	0.00087
3000	15	598.399	0.0012	0.0000014	712192.669	426175650.2				-0.192	0.03681

Resultados

Punto	Este	Norte	Altura
1	2013.870	1963.512	600.442
2	2004.685	1964.185	600.341
3	2014.980	1977.574	600.333
4	2005.702	1978.704	600.198
5	2014.152	1989.221	600.297
6	2007.287	1997.710	600.222
51	2014.509	1963.072	604.293
52	2014.938	1967.249	600.142
53	2015.612	1975.561	609.150
54	2017.756	1994.368	606.344
55	2019.383	1972.342	615.923
56	2012.979	1982.823	603.756
57	2013.416	1987.707	603.763
58	2022.663	1962.233	604.270
59	2023.076	1966.389	609.112
60	2024.002	1974.668	609.154
61	2025.688	1993.578	606.246
62	2018.640	1968.348	611.501
11	2031.309	1960.738	601.419
15	2026.748	1992.656	598.621

PUNTO	COTA			
1	600.442	±	0.007	m
2	600.341	±	0.004	m
3	600.333	±	0.004	m
4	600.198	±	0.005	m
5	600.222	±	0.006	m
51	604.293	±	0.004	m
52	609.142	±	0.003	m
53	609.150	±	0.000	m
54	606.344	±	0.006	m
55	615.923	±	0.006	m
56	603.756	±	0.006	m
57	603.763	±	0.005	m
59	609.112	±	0.001	m
60	609.154	±	0.008	m
61	606.246	±	0.006	m

Estación	Visado	AE	AN	D_ref	D_est	AH	Altitud	e_v	e_r	desv_tip_re	desv_tip_abs
2000	1	13.870	-36.488	39.035	39.039	0.449	600.449	0.0014	0.00003	0.0014	0.05
2000	2	4.685	-35.815	36.120	36.123	0.345	600.345	0.0013	0.00003	0.0013	0.05
2000	3	14.980	-22.426	26.969	26.972	0.336	600.336	0.0009	0.00001	0.0009	0.05
2000	4	5.702	-21.296	22.046	22.048	0.202	600.202	0.0008	0.00001	0.0008	0.05
2000	5	14.152	-10.779	17.789	17.791	0.297	600.297	0.0006	0.00001	0.0006	0.05
2000	6	7.287	-2.290	7.639	7.642	0.222	600.222	0.0004	0.00001	0.0004	0.05
2000	51	14.509	-36.928	39.676	39.680	4.298	604.298	0.0014	0.00003	0.0014	0.05
2000	52	14.938	-32.751	35.997	36.000	9.146	609.146	0.0013	0.00003	0.0013	0.05
2000	53	15.612	-24.439	29.000	29.003	9.150	609.150	0.0010	0.00002	0.0010	0.05
2000	54	17.756	-5.632	18.628	18.629	6.350	606.350	0.0007	0.00001	0.0007	0.05
2000	55	19.383	-27.658	33.774	33.777	15.929	615.929	0.0012	0.00002	0.0012	0.05
2000	56	12.979	-17.177	21.529	21.531	3.760	603.760	0.0008	0.00001	0.0008	0.05
2000	57	13.416	-12.293	18.196	18.198	3.765	603.765	0.0006	0.00001	0.0006	0.05
1000	1	14.598	-1.324	14.650	14.652	0.174	600.174	0.0009	0.00001	0.0009	0.05
1000	2	5.414	1.897	5.737	5.737	0.070	600.041	0.0002	0.00000	0.0002	0.05
1000	3	15.709	15.285	21.918	21.920	0.059	600.330	0.0008	0.00001	0.0008	0.05
1000	4	6.430	16.416	16.138	17.632	-0.076	600.195	0.0006	0.00001	0.0006	0.05
1000	5	14.880	26.933	30.770	30.773	0.242	600.513	0.0011	0.00002	0.0011	0.05
1000	6	8.016	35.421	36.317	36.320	-0.056	600.215	0.0013	0.00003	0.0013	0.05
1000	51	15.237	0.780	15.257	15.259	4.023	604.294	0.0005	0.00000	0.0005	0.05
1000	52	15.666	4.964	16.333	16.434	8.871	609.142	0.0006	0.00001	0.0006	0.05
1000	53	16.340	-1.273	21.052	21.054	8.879	609.150	0.0007	0.00001	0.0007	0.05
1000	54	18.484	32.080	27.024	27.027	6.072	606.343	0.0013	0.00003	0.0013	0.05
1000	55	20.112	10.053	22.484	22.486	15.650	615.921	0.0008	0.00001	0.0008	0.05
1000	56	13.707	20.535	24.689	24.692	3.481	603.752	0.0009	0.00001	0.0009	0.05
1000	57	14.144	25.418	29.088	29.091	3.488	603.759	0.0010	0.00002	0.0010	0.05
4000	58	23.292	-0.055	23.292	23.394	3.364	603.137	0.0008	0.00001	0.0008	0.05
4000	59	-16.645	-28.795	33.360	33.263	9.340	609.113	0.0012	0.00002	0.0012	0.05
4000	60	-15.718	-20.516	25.845	25.847	9.374	609.147	0.0009	0.00001	0.0009	0.05
61	4	-1.506	14.135	14.736	14.742	6.476	606.445	0.0005	0.00000	0.0005	0.05
4000	62	21.081	-6.692	14.126	14.129	15.262	615.093	0.0012	0.00002	0.0012	0.05
4000	54	-2.165	-0.816	21.980	21.982	6.564	606.337	0.0008	0.00001	0.0008	0.05
4000	51	-94.912	-34.446	35.458	35.462	6.690	600.463	0.0012	0.00003	0.0012	0.05
4000	52	-129.673	-2.529	13.217	13.218	-1.152	598.621	0.0005	0.00000	0.0005	0.05
3000	51	-22.061	2.620	22.216	22.218	3.930	604.290	0.0008	0.00001	0.0008	0.05
3000	58	-13.906	1.781	14.020	14.021	3.910	604.270	0.0005	0.00000	0.0005	0.05
3000	59	-13.493	5.937	14.742	14.743	8.756	609.112	0.0005	0.00000	0.0005	0.05
3000	60	-12.567	14.216	18.974	18.976	8.798	609.158	0.0007	0.00001	0.0007	0.05
3000	61	-10.982	33.126	14.867	14.871	5.892	606.252	0.0012	0.00002	0.0012	0.05
3000	62	-17.929	7.895	19.591	19.593	11.141	611.501	0.0007	0.00001	0.0007	0.05
3000	11	-5.261	0.286	5.268	5.269	1.059	601.419	0.0002	0.00000	0.0002	0.05
3000	15	-9.821	32.203	33.667	33.671	-1.961	598.399	0.0012	0.00002	0.0012	0.05

## CÁLCULO DE LA RADIACIÓN

## LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)

Estación	Este	Norte	Altura	Des
2000	2000.000	2000.000	600.000	0
1000	1999.272	1962.288	600.271	359.6762
3000	2036.569	1960.452	600.360	129.9684
4000	2039.721	1995.184	599.773	188.8741

Radio tierra  
k\_ref

6378000

0.13

## Cálculo de las desorientaciones

Estación	Visado	Horizontal	Desor	Acimut'	Acimut
2000	201	217.3308	0.000	217.3308	217.3308
2000	202	328.9935	0.000	328.9935	328.9935
2000	203	100.6634	0.000	100.6634	100.6634
2000	204	43.7321	0.000	43.7321	43.7321
2000	205	12.9709	0.000	12.9709	12.9709
2000	206	386.0985	0.000	386.0985	386.0985
2000	207	231.4177	0.000	231.4177	231.4177
2000	208	213.0503	0.000	213.0503	213.0503
3000	12	180.0042	129.9684	309.9726	309.9726
3000	11	173.4795	129.9684	303.4479	303.4479
3000	13	258.2256	129.9684	388.1940	388.1940
3000	15	251.1815	129.9684	381.1499	381.1499
3000	209	315.9651	129.9684	445.9335	45.9335
3000	210	304.7498	129.9684	434.7182	34.7182
3000	211	288.8882	129.9684	418.8566	18.8566
3000	212	275.018	129.9684	404.9864	4.9864
4000	14	61.1325	188.8741	250.0066	250.0066
4000	16	128.216	188.8741	317.0901	317.0901

## Reduccion de distancias

Estacion	Visado	Vertical	Dg	w	r	D est	AH
2000	201	101.3417	35.771	0.000357048	4.64162E-05	35.763	0.688
2000	202	101.1813	4.669	4.66036E-05	6.05847E-06	4.668	1.355
2000	203	108.7495	13.486	0.00013461	1.74994E-05	13.359	-0.406
2000	204	102.2401	44.66	0.000445774	5.79506E-05	44.632	-0.129
2000	205	104.2401	50.455	0.000503616	6.54701E-05	50.343	-1.916
2000	206	107.5321	41.86	0.000417825	5.43173E-05	41.567	-3.499
2000	207	101.9837	51.342	0.00051247	6.66211E-05	51.317	-0.158
2000	208	99.3606	78.418	0.000782729	0.000101755	78.414	2.230
3000	12	105.496	12.985	0.00012961	1.68493E-05	12.937	0.374
3000	11	105.2425	5.408	5.39799E-05	7.01739E-06	5.390	1.049
3000	13	115.4095	16.509	0.000164785	2.1422E-05	16.028	-2.463
3000	15	106.509	33.698	0.000336356	4.37263E-05	33.522	-1.945
3000	209	101.4717	49.364	0.000492727	6.40544E-05	49.351	0.353
3000	210	101.5104	87.242	0.000870806	0.000113205	87.217	-2.196
3000	211	101.5388	78.68	0.000785344	0.000102095	78.657	-2.028
3000	212	101.616	85.225	0.000850673	0.000110587	85.198	-2.289
4000	14	104.6981	20.258	0.000202205	2.62867E-05	20.203	-0.064
4000	16	113.0239	7.059	7.04594E-05	9.15972E-06	6.912	-0.004

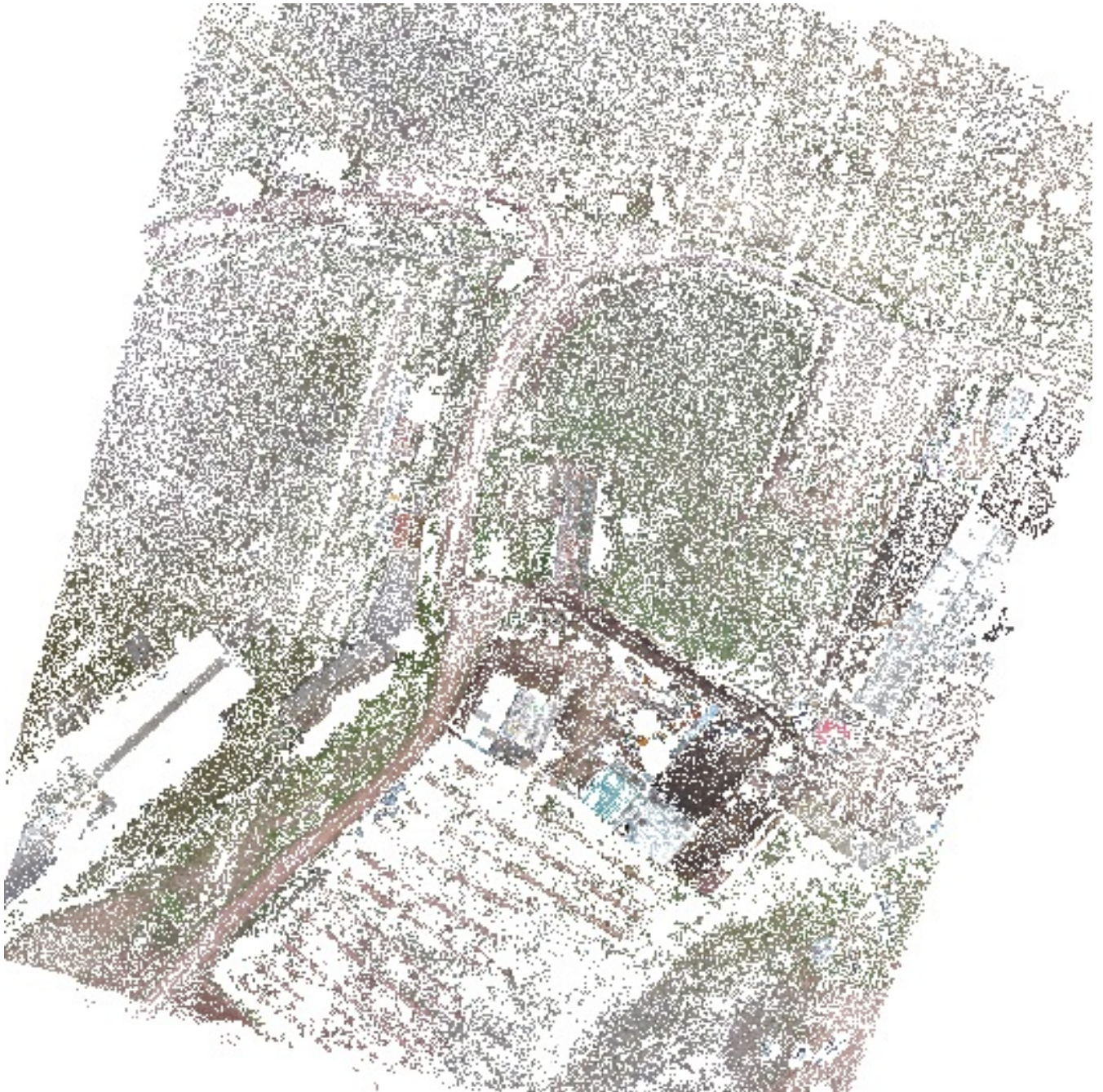
## Calculo de coordenadas

Punto	Este	Norte	Altitud
201	1990.384	1965.554	600.688
202	1995.808	2002.053	601.355
203	2013.358	1999.861	599.594
204	2028.305	2034.509	599.871
205	2010.186	2049.302	598.084
206	1990.995	2040.580	596.501
207	1975.690	1954.806	599.842
208	1984.038	1923.228	602.230
12	2023.791	1962.471	600.734
11	1994.618	1960.744	601.409
13	1997.045	1976.205	597.897
15	1990.219	1992.516	598.415
209	2032.598	1997.505	600.713
210	2045.241	2035.018	598.164
211	2022.959	2035.684	598.332
212	2006.666	2045.389	598.071
14	2025.434	1980.900	599.709
16	2033.057	1997.017	599.769



# AEREA

Processing Report  
10 julio 2017





# Datos del levantamiento

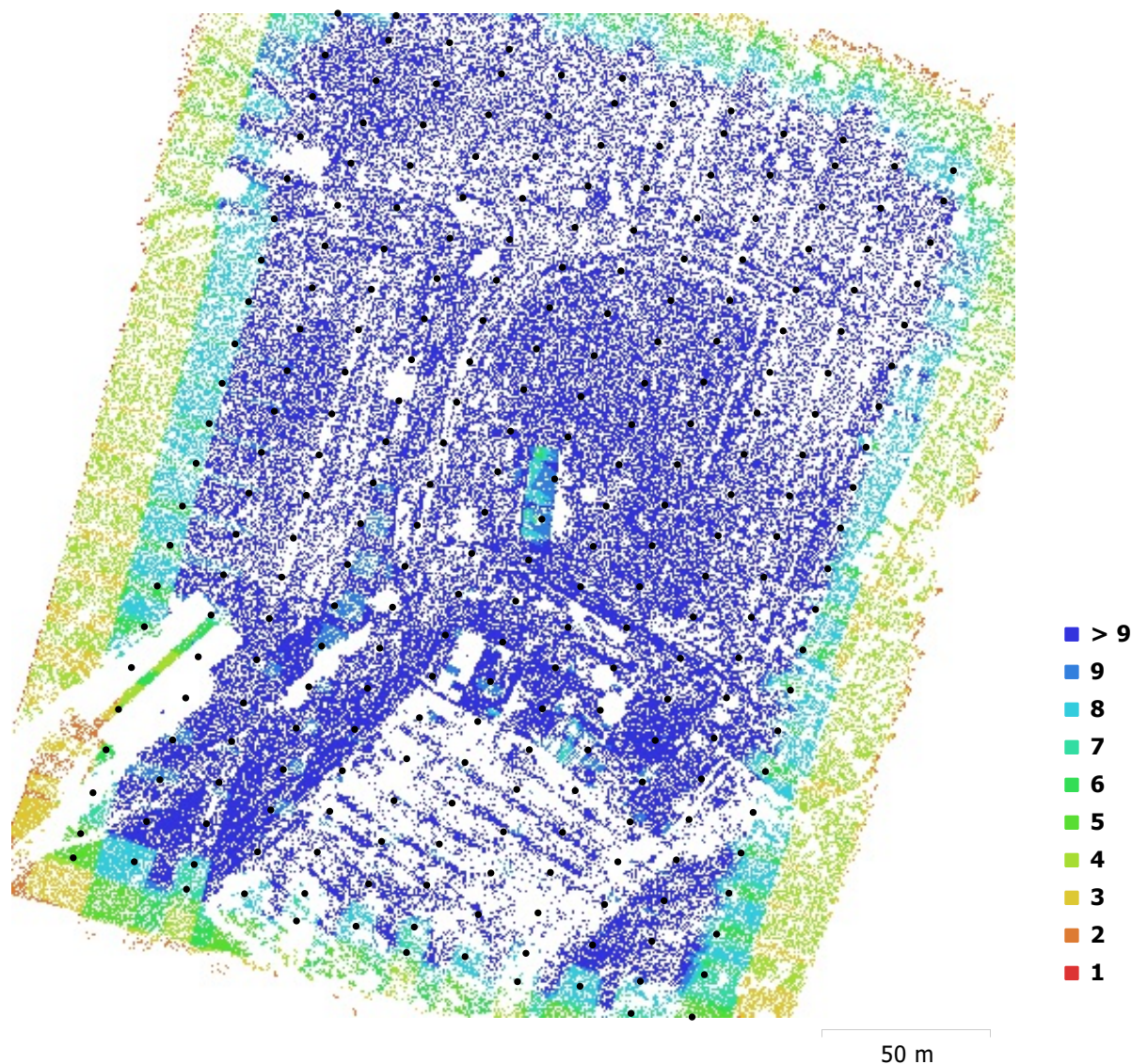


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes: 264

Altitud media de vuelo: 43 m

Resolución en terreno: 1.91 cm/pix

Superficie cubierta: 0.0318 km<sup>2</sup>

Posiciones de cámara: 264

Puntos de enlace: 217,037

Proyecciones: 924,569

Error de reproyección: 0.388 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
Aerea	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

# Calibración de cámara

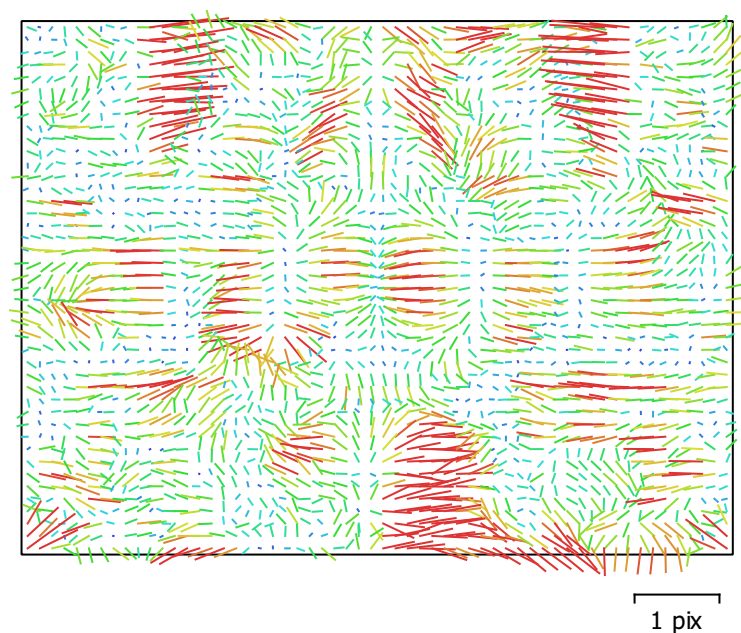


Fig. 2. Gráfico de residuales para Aerea.

**Aerea**  
264 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
<b>Cuadro</b>	<b>4000 x 3000</b>	<b>3.61 mm</b>	<b>1.56 x 1.56 micras</b>

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
<b>F</b>	<b>2254.38</b>	2	1.00	0.93	-0.90	0.08	0.02	0.50	-0.85	0.90	-0.92	0.01	-0.46	-0.38	0.48
<b>Cx</b>	<b>4.6116</b>	0.08		1.00	-0.85	0.13	-0.04	0.36	-0.78	0.83	-0.85	0.22	-0.39	-0.44	0.49
<b>Cy</b>	<b>-31.4128</b>	0.19			1.00	-0.14	-0.00	-0.42	0.76	-0.80	0.83	-0.04	0.46	0.39	-0.46
<b>B1</b>	<b>8.03726</b>	0.16				1.00	0.00	0.24	-0.12	0.13	-0.13	-0.04	-0.33	0.05	0.03
<b>B2</b>	<b>3.38106</b>	0.13					1.00	0.03	-0.03	0.03	-0.03	-0.01	0.01	0.01	-0.00
<b>K1</b>	<b>0.0168388</b>	7e-05						1.00	-0.68	0.66	-0.65	-0.22	-0.60	0.22	0.04
<b>K2</b>	<b>-0.0429981</b>	0.00018							1.00	-0.99	0.98	0.02	0.41	0.28	-0.38
<b>K3</b>	<b>0.0462762</b>	0.00027								1.00	-1.00	-0.02	-0.44	-0.30	0.40
<b>K4</b>	<b>-0.017599</b>	0.00014									1.00	0.01	0.45	0.31	-0.42
<b>P1</b>	<b>-0.000175117</b>	4.5e-06										1.00	0.08	-0.15	0.04
<b>P2</b>	<b>-0.00104043</b>	3.9e-06											1.00	0.27	-0.46
<b>P3</b>	<b>-0.936165</b>	0.0047												1.00	-0.93
<b>P4</b>	<b>0.4476</b>	0.0037													1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.



# Puntos de control terrestres

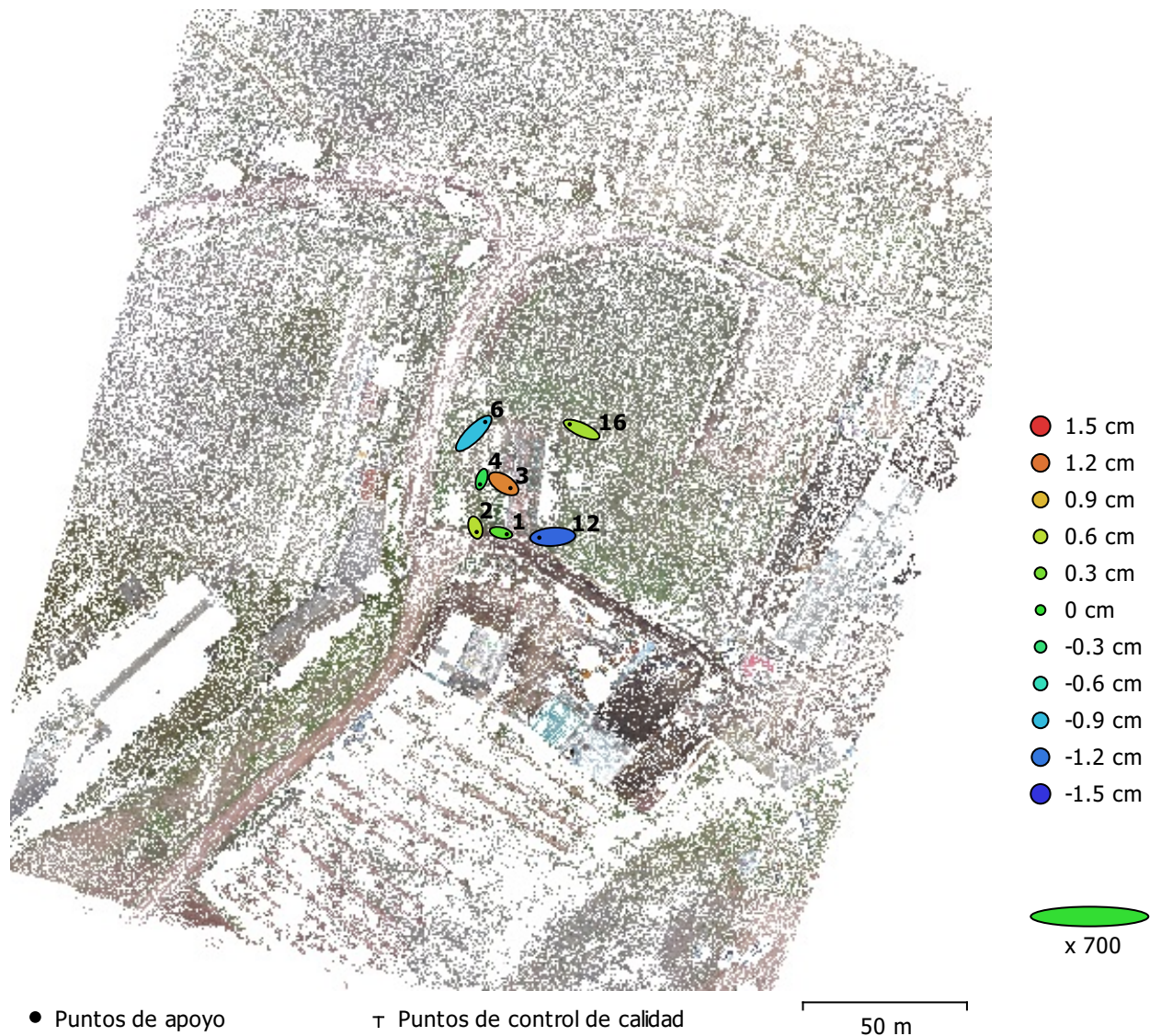


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
7	0.76296	0.494558	0.789582	0.909228	1.20422

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

<b>Nombre</b>	<b>Error X (cm)</b>	<b>Error Y (cm)</b>	<b>Error Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
1	0.506734	-0.120767	0.171116	0.54831	0.396 (12)
12	-1.17653	-0.0716799	-1.28679	1.74505	0.357 (13)
16	-1.02605	0.461345	0.496982	1.22988	0.489 (13)
2	0.111057	-0.389898	0.579705	0.707398	0.373 (13)
3	0.59415	-0.379268	1.13553	1.33652	0.373 (8)
4	-0.141877	-0.446826	-0.162304	0.49611	0.481 (14)
6	0.997742	0.991984	-0.883264	1.66123	0.503 (16)
<b>Total</b>	<b>0.76296</b>	<b>0.494558</b>	<b>0.789582</b>	<b>1.20422</b>	<b>0.435</b>

Tabla 4. Puntos de apoyo.



# Modelo digital de elevaciones

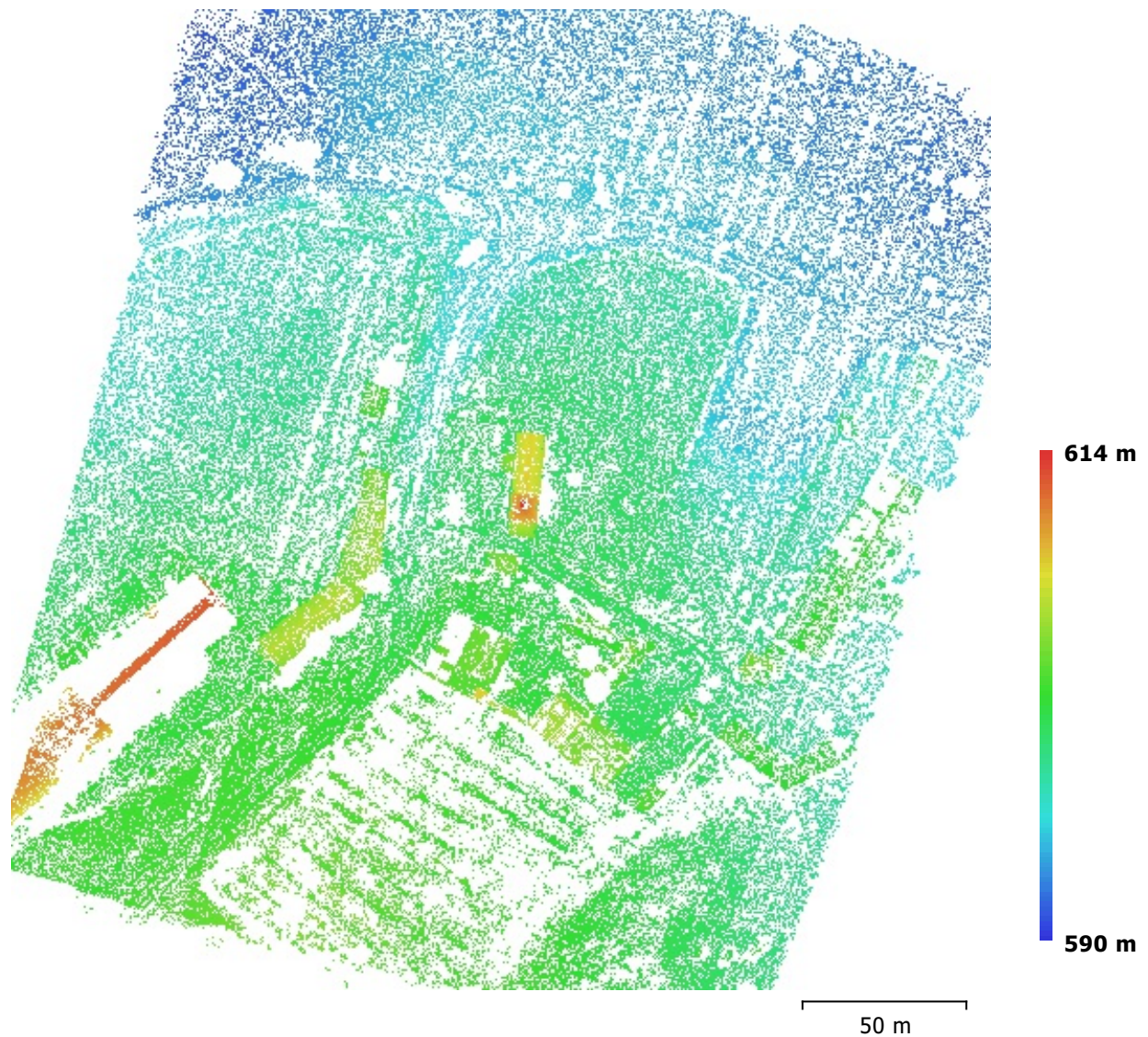


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: desconocido

Densidad de puntos: desconocido

# Parámetros de procesamiento

## Generales

Cámaras	264
Cámaras orientadas	264
Marcadores	7
Sistema de coordenadas	Local Coordinates (m)
Ángulo de rotación	Omega, Phi, Kappa

## Nube de puntos

Puntos	217,037 de 230,794
RMS error de reproyección	0.241485 (0.388105 pix)
Error de reproyección máximo	1.17394 (18.9179 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	1.73523 pix
Superposición efectiva	4.49851

## Parámetros de orientación

Precisión	Máxima
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	4 horas 36 minutos
Tiempo de orientación	2 minutos 1 segundo

## Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Compensar rolling-shutter	Sí
Tiempo de optimización	28 segundos

## Software

Versión	1.3.1 build 4030
Plataforma	Windows 64

# TERRESTRE

Processing Report  
10 julio 2017



# Datos del levantamiento

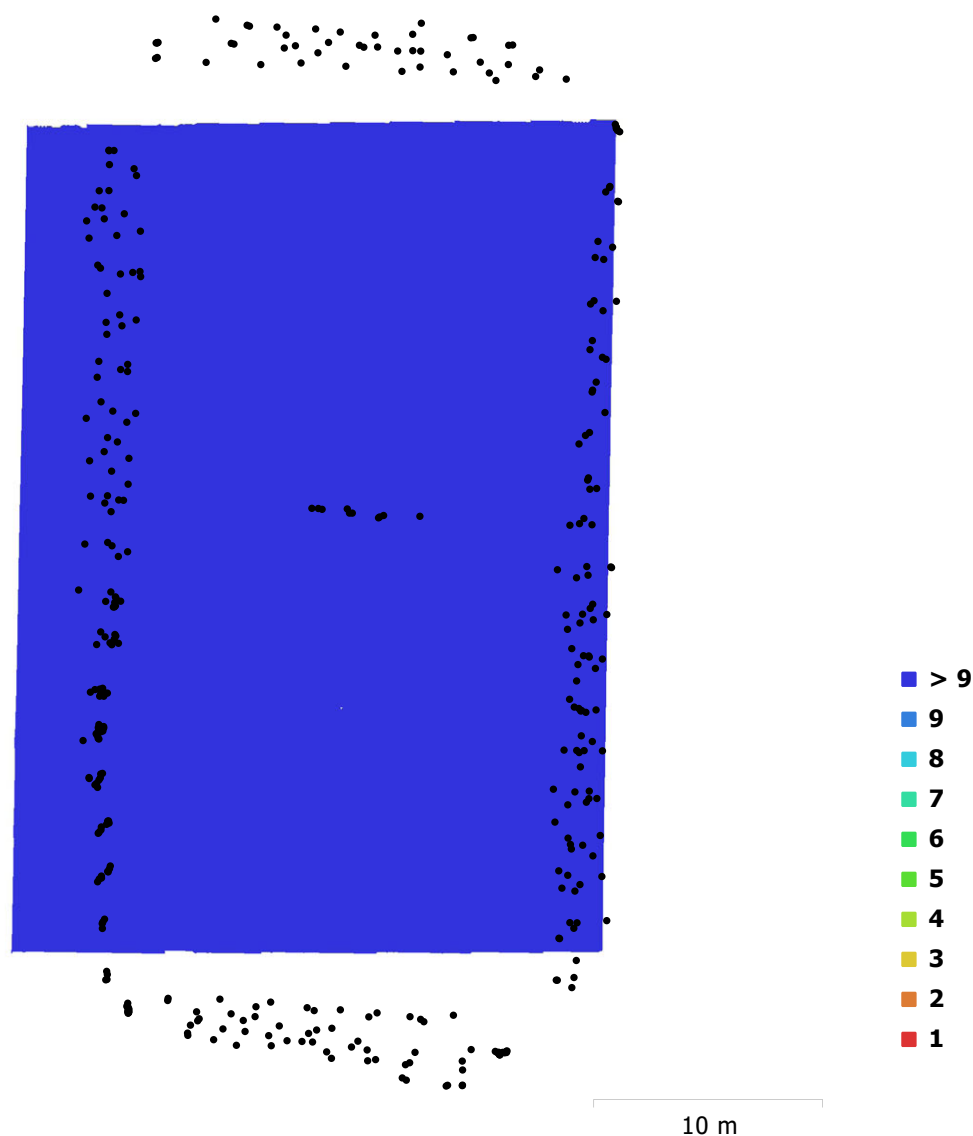


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	378	Posiciones de cámara:	378
Altitud media de vuelo:	9.42 m	Puntos de enlace:	202,668
Resolución en terreno:	4.58 mm/pix	Proyecciones:	866,141
Superficie cubierta:	937 m <sup>2</sup>	Error de reproyección:	0.557 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
Camara Terrestre	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

# Calibración de cámara

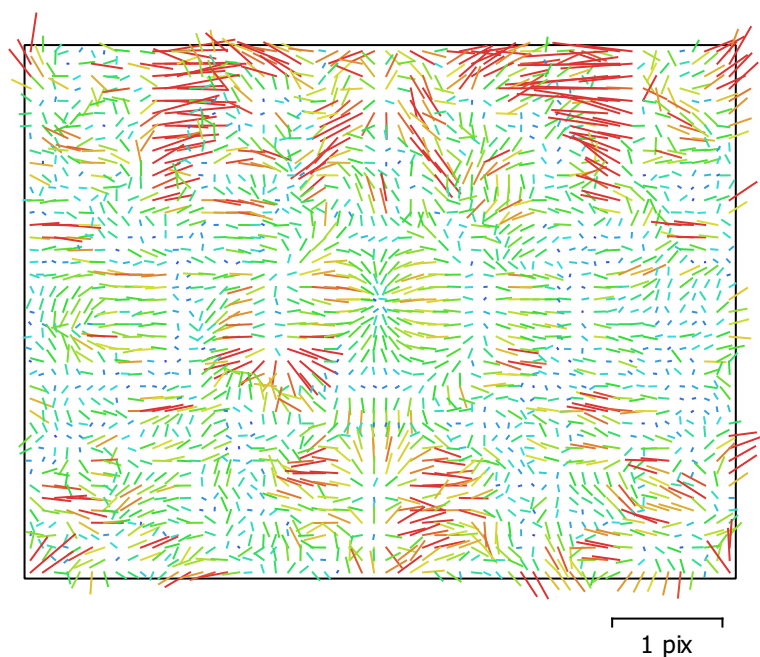


Fig. 2. Gráfico de residuales para Cámara Terrestre.

## Camara Terrestre

378 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	2332.98	0.16	1.00	0.01	-0.20	-0.95	-0.05	0.01	-0.01	0.01	-0.02	-0.01	-0.10	-0.00	0.00
Cx	7.41072	0.038		1.00	-0.10	0.02	0.00	-0.00	0.00	-0.01	0.01	0.36	0.05	-0.12	0.06
Cy	-39.4215	0.11			1.00	0.18	-0.07	-0.00	-0.02	0.04	-0.05	0.02	0.37	-0.04	0.01
B1	0.878148	0.16				1.00	0.06	-0.05	0.04	-0.04	0.04	0.01	0.10	0.00	0.00
B2	0.354707	0.057					1.00	0.00	0.00	-0.01	0.01	-0.03	0.02	-0.01	-0.01
K1	0.0118942	3.9e-05						1.00	-0.97	0.92	-0.86	-0.00	-0.07	-0.05	0.04
K2	-0.0456325	0.00013							1.00	-0.98	0.95	0.01	0.04	0.06	-0.05
K3	0.050932	0.00018								1.00	-0.99	-0.01	-0.01	-0.03	0.02
K4	-0.019853	8.1e-05									1.00	0.01	-0.03	-0.01	0.03
P1	-0.000174575	4e-06										1.00	0.09	-0.09	-0.01
P2	-0.000839804	5.9e-06											1.00	0.07	-0.23
P3	-1.19513	0.0079												1.00	-0.93
P4	0.590927	0.0068													1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.



# Puntos de control terrestres

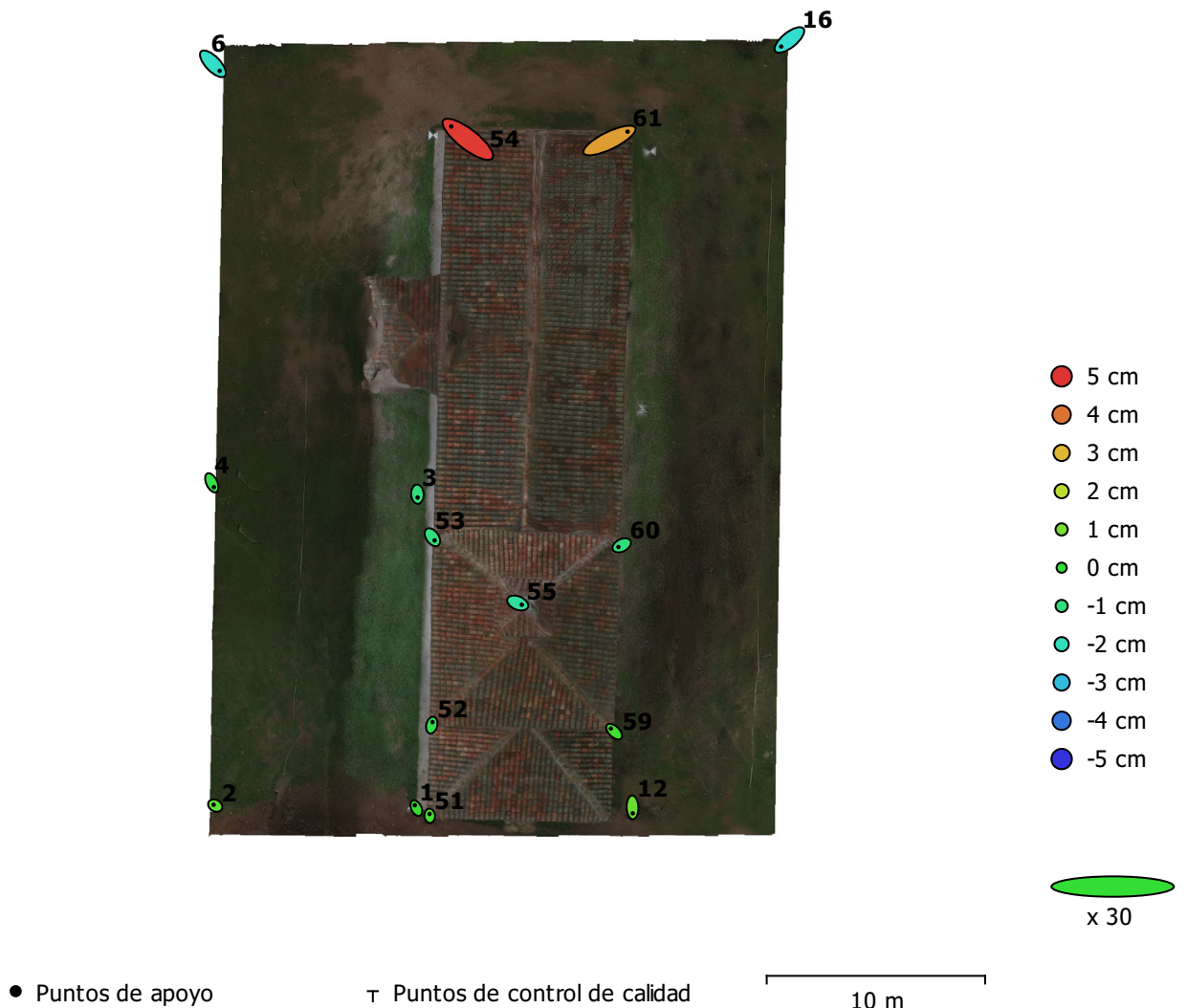


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
15	2.18503	1.67326	1.87867	2.75212	3.3322

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.



<b>Nombre</b>	<b>Error X (cm)</b>	<b>Error Y (cm)</b>	<b>Error Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
1	-0.456411	0.884524	0.00391415	0.995344	0.434 (13)
12	0.0620544	-1.82469	0.770298	1.98159	0.487 (10)
16	-2.50615	-2.02706	-2.36001	3.99492	0.318 (45)
2	-0.469132	0.257809	0.628259	0.825385	0.319 (28)
3	0.0635383	-1.03018	-1.12312	1.52535	0.454 (32)
4	0.643657	-1.34097	-0.368583	1.53243	0.404 (38)
51	-0.055651	0.579971	0.194158	0.614134	0.714 (25)
52	0.226048	0.915715	-0.375174	1.01508	0.614 (95)
53	0.684885	-0.974283	-1.11171	1.62917	0.695 (55)
54	-5.05924	3.92304	4.8467	8.02974	0.744 (67)
55	1.25476	-0.51691	-1.51322	2.0326	0.313 (170)
59	-0.983565	0.950217	0.248092	1.38991	0.609 (100)
6	2.0632	-2.14887	-2.20429	3.70585	0.333 (42)
60	-1.01426	-0.509534	-1.05872	1.55218	0.551 (47)
61	5.52608	2.69971	3.4278	7.041	0.726 (59)
<b>Total</b>	<b>2.18503</b>	<b>1.67326</b>	<b>1.87867</b>	<b>3.3322</b>	<b>0.540</b>

Tabla 4. Puntos de apoyo.

# Modelo digital de elevaciones

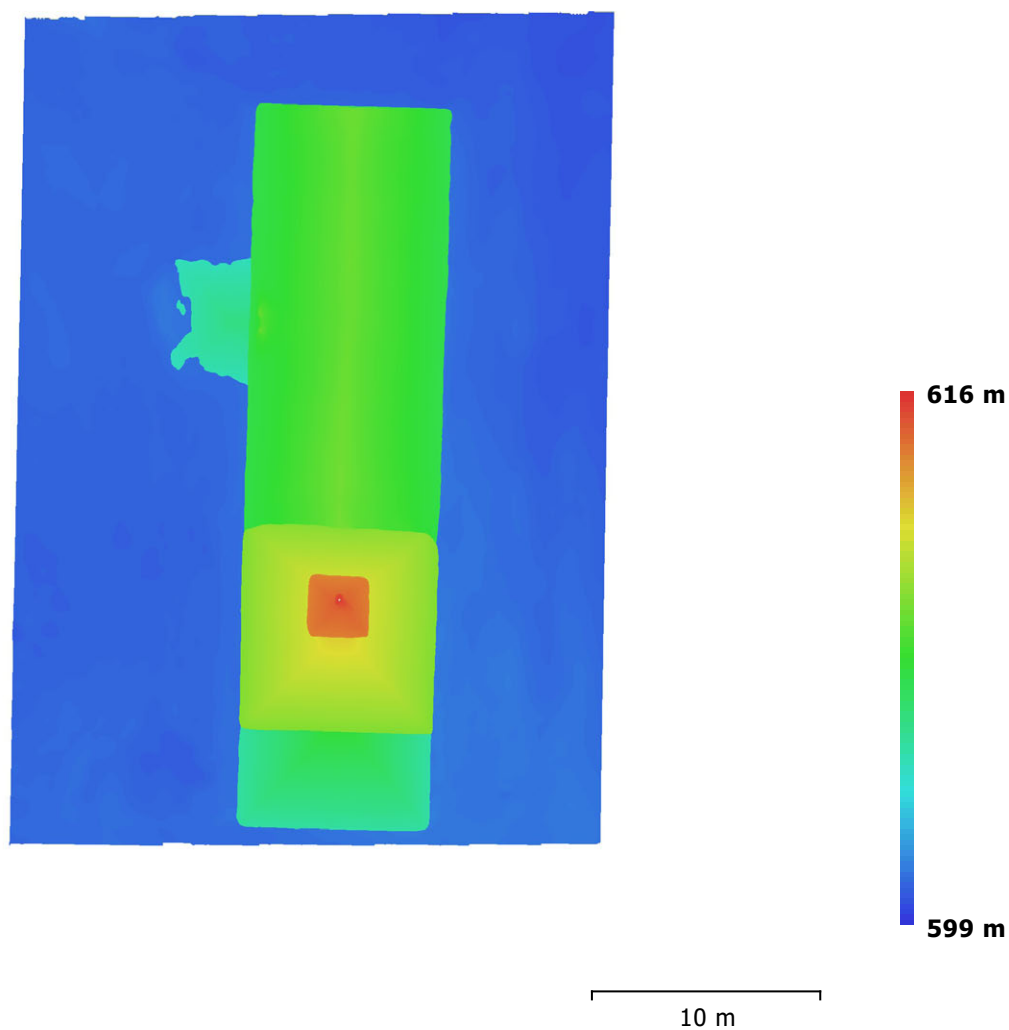


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: 7.33 cm/pix  
Densidad de puntos: 186 puntos/m<sup>2</sup>

# Parámetros de procesamiento

## Generales

Cámaras	378
Cámaras orientadas	378
Marcadores	15
Sistema de coordenadas	Local Coordinates (m)
Ángulo de rotación	Omega, Phi, Kappa

## Nube de puntos

Puntos	202,668 de 308,742
RMS error de reproyección	0.217288 (0.556847 pix)
Error de reproyección máximo	1.12881 (17.2823 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	2.74916 pix
Superposición efectiva	4.76638

## Parámetros de orientación

Precisión	Máxima
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	4,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	4 horas 30 minutos
Tiempo de orientación	4 minutos 38 segundos

## Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Compensar rolling-shutter	Sí
Tiempo de optimización	25 segundos

## Nube de puntos densa

Puntos	373,338
--------	---------

## Parámetros de reconstrucción

Calidad	Mínima
Filtrado de profundidad	Leve
Tiempo de generación de mapas de profundidad	35 minutos 7 segundos
Tiempo de generación de nube de puntos densa	13 minutos 38 segundos

## Modelo

Caras	687,943
Vértices	344,873
Textura	4,096 x 4,096, uint8

## Parámetros de reconstrucción

Tipo de superficie	Arbitrario
Datos fuente	Densa
Interpolación	Habilitada
Calidad	Mínima
Filtrado de profundidad	Leve
Número de caras	1,000,000
Duración del procesamiento	19 segundos

## Parámetros de texturizado

Modo de mapeado	Genérico
Modo de mezcla	Mosaico
Tamaño de textura	4,096 x 4,096
Realizar corrección de color	No
Realizar el relleno de agujeros	Sí
Tiempo de mapeado en UV	11 segundos
Tiempo de mezcla	11 minutos 17 segundos

## Software

Versión	1.3.1 build 4030
Plataforma	Windows 64

# ERMITA

Processing Report

14 junio 2017





# Datos del levantamiento

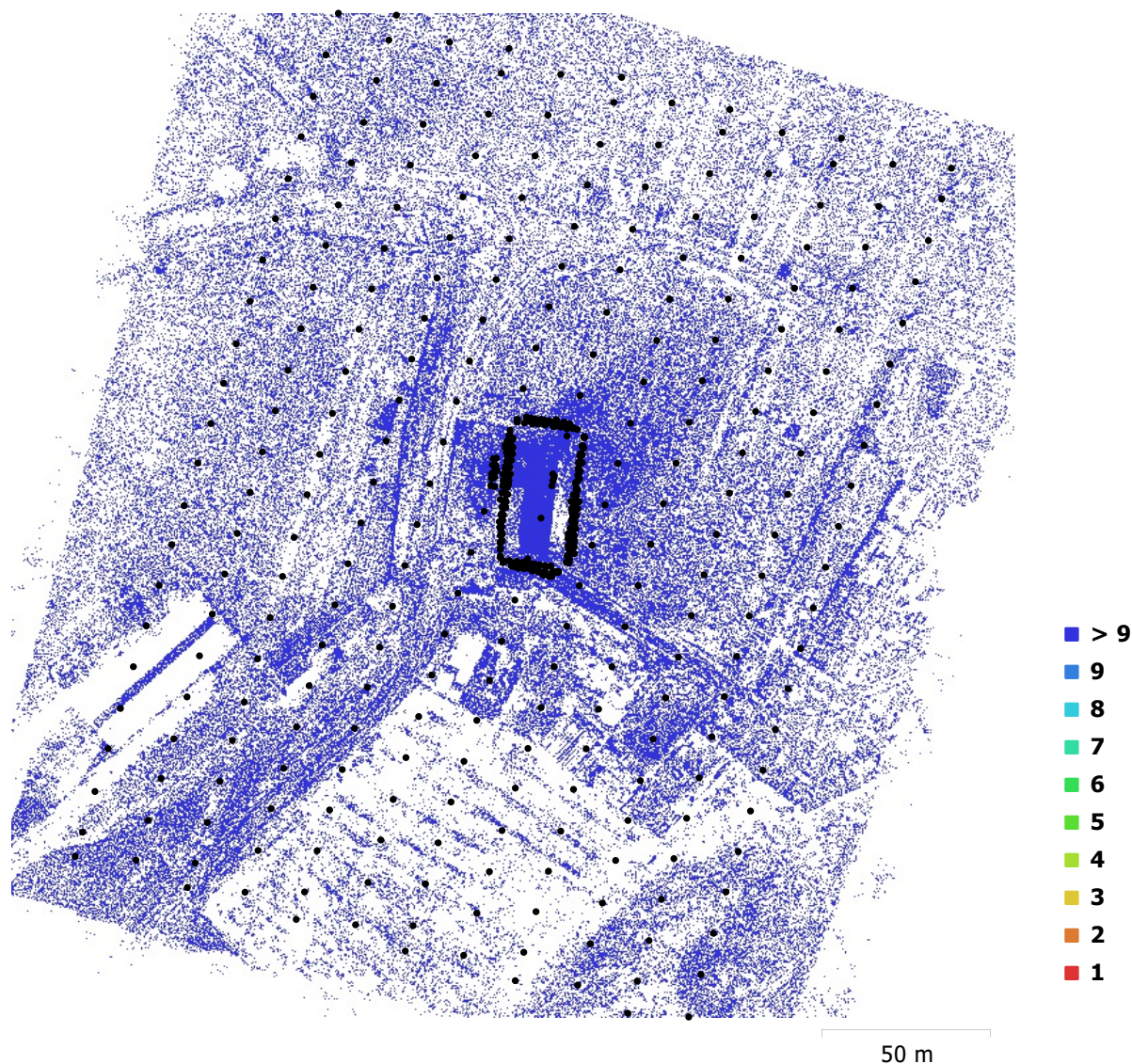


Fig. 1. Posiciones de cámaras y solapamiento de imágenes.

Número de imágenes:	651	Posiciones de cámara:	651
Altitud media de vuelo:	27.4 m	Puntos de enlace:	587,884
Resolución en terreno:	1.18 cm/pix	Proyecciones:	2,414,028
Superficie cubierta:	0.0244 km <sup>2</sup>	Error de reproyección:	0.496 pix

Modelo de cámara	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel	Precalibrada
FC330 (3.61 mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras	No

Tabla 1. Cámaras.

# Calibración de cámara

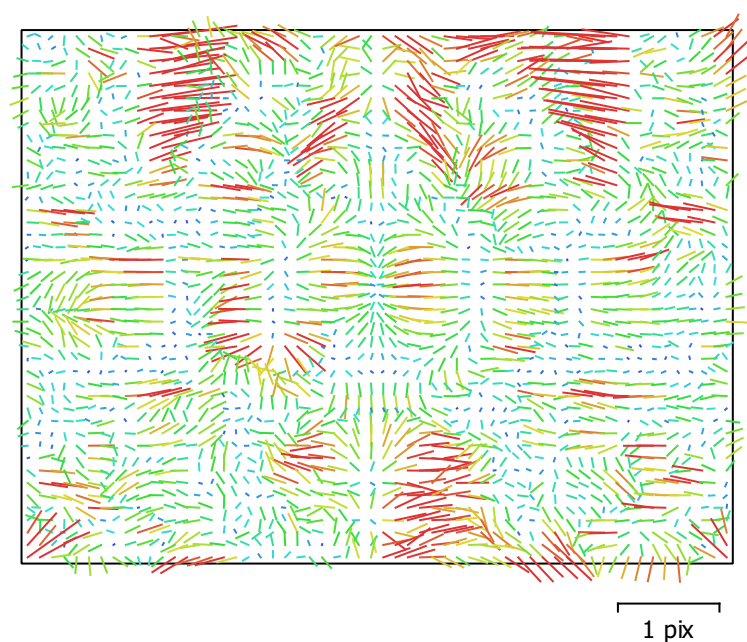


Fig. 2. Gráfico de residuales para FC330 (3.61 mm).

## FC330 (3.61 mm)

651 imágenes

Tipo	Resolución	Distancia focal	Tamaño de píxel
Cuadro	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 micras

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	2330.38	0.092	1.00	0.01	-0.03	-0.94	-0.11	0.01	-0.01	0.02	-0.03	-0.01	0.15	-0.05	0.02
Cx	8.09427	0.017		1.00	-0.05	0.03	-0.10	-0.01	0.01	-0.00	0.00	0.30	-0.02	-0.02	0.01
Cy	-39.4255	0.055			1.00	0.04	0.01	0.00	-0.02	0.02	-0.03	-0.03	0.17	0.05	-0.04
B1	3.63163	0.09				1.00	0.10	-0.03	0.04	-0.04	0.05	0.00	-0.17	0.05	-0.01
B2	1.3307	0.043					1.00	0.01	-0.00	0.00	0.00	-0.03	0.01	0.01	-0.01
K1	0.0122811	2.2e-05						1.00	-0.96	0.92	-0.86	-0.02	-0.01	0.01	-0.01
K2	-0.0466778	7.3e-05							1.00	-0.99	0.96	0.01	-0.00	0.00	0.01
K3	0.052555	9.8e-05								1.00	-0.99	-0.01	0.01	0.01	-0.02
K4	-0.020824	4.5e-05									1.00	0.01	-0.03	-0.03	0.04
P1	-0.000106652	2.1e-06										1.00	-0.01	0.03	-0.06
P2	-0.000844273	2.3e-06											1.00	0.43	-0.48
P3	-1.28153	0.0032												1.00	-0.96
P4	0.604344	0.0031													1.00

Tabla 2. Coeficientes de calibración y matriz de correlación.



# Puntos de control terrestres

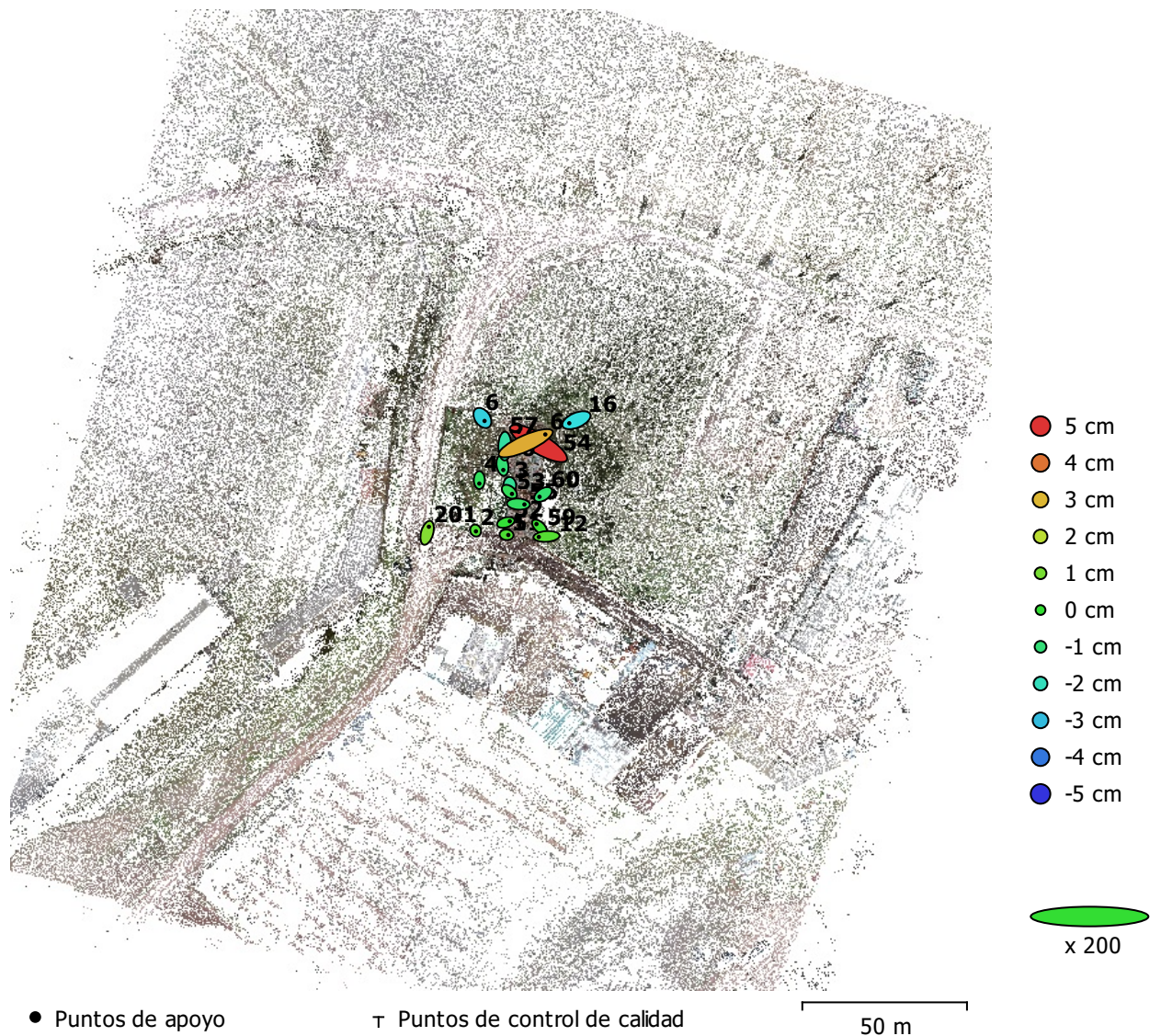


Fig. 3. Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores.

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY. Posiciones estimadas de puntos de apoyo se indican con los puntos negros, puntos de control - con cruzamiento.

Número	Error X (cm)	Error Y (cm)	Error Z (cm)	Error XY (cm)	Total (cm)
18	2.23554	1.40848	1.80278	2.64224	3.19867

Tabla 3. ECM de puntos de apoyo.

<b>Nombre</b>	<b>Error X (cm)</b>	<b>Error Y (cm)</b>	<b>Error Z (cm)</b>	<b>Total (cm)</b>	<b>Imagen (pix)</b>
1	-0.217064	0.208988	-0.11548	0.322689	0.441 (24)
2	0.099834	-0.233979	0.430663	0.500184	0.483 (35)
3	0.0279978	-0.59511	-1.49612	1.61037	0.552 (44)
4	-0.00330471	-1.04561	-0.62819	1.21981	0.540 (54)
51	0.529185	-0.055008	0.353754	0.638908	0.728 (29)
52	1.20598	0.366022	-0.0755612	1.26256	0.708 (95)
53	0.776776	-0.637568	-0.582861	1.16172	0.730 (61)
54	-5.99428	3.53889	4.96776	8.55183	0.742 (75)
55	1.82052	-0.114528	-0.690263	1.95035	0.355 (170)
56	0.244285	-1.3874	-0.982935	1.71776	0.511 (8)
57	-0.0345974	-2.38822	-1.64645	2.90096	0.736 (21)
59	-0.914801	0.865395	0.0994125	1.26319	0.640 (100)
6	0.649909	-0.899424	-2.72241	2.93987	0.442 (60)
60	-1.07677	-0.721747	-0.909194	1.58335	0.661 (48)
61	5.95138	2.6668	3.20361	7.26594	0.736 (60)
12	-2.34552	-0.157311	0.46431	2.39621	0.318 (14)
16	-2.15341	-0.922693	-2.50424	3.42925	0.377 (4)
201	0.527823	1.84052	1.1696	2.24367	0.481 (15)
<b>Total</b>	<b>2.23554</b>	<b>1.40848</b>	<b>1.80278</b>	<b>3.19867</b>	<b>0.596</b>

Tabla 4. Puntos de apoyo.



# Modelo digital de elevaciones

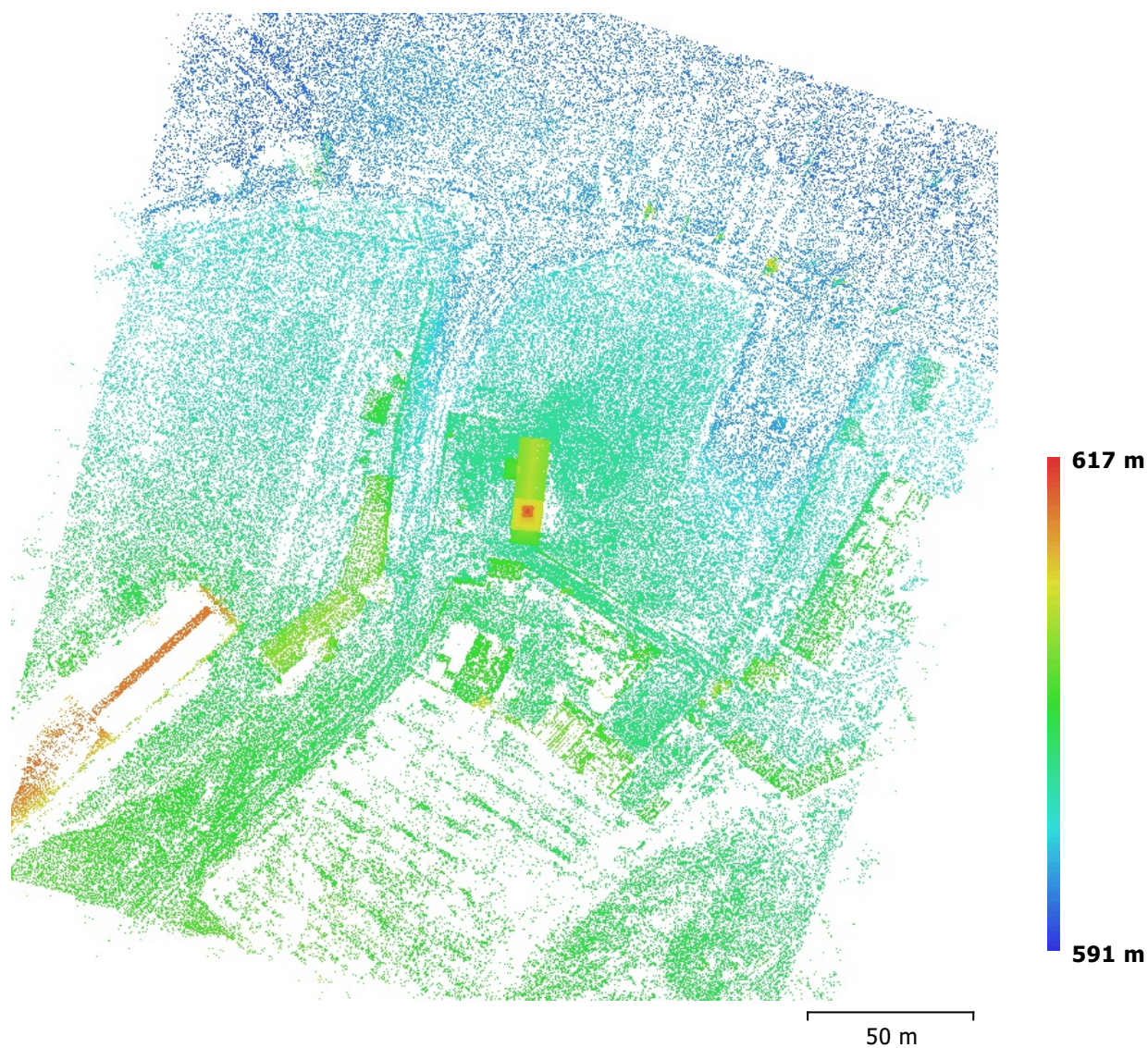


Fig. 4. Modelo digital de elevaciones.

Resolución: desconocido

Densidad de puntos: desconocido

# Parámetros de procesamiento

## Generales

Cámaras	651
Cámaras orientadas	651
Marcadores	18
Sistema de coordenadas	Local Coordinates (m)
Ángulo de rotación	Omega, Phi, Kappa

## Nube de puntos

Puntos	587,884 de 674,463
RMS error de reproyección	0.227112 (0.496491 pix)
Error de reproyección máximo	1.13641 (23.3708 pix)
Tamaño promedio de puntos característicos	2.33322 pix
Superposición efectiva	4.47856

## Parámetros de orientación

Precisión	Máxima
Pre-selección genérica	Sí
Pre-selección de referencia	Sí
Puntos claves por foto	40,000
Puntos de enlace por foto	5,000
Adaptativo ajuste del modelo de cámara	Sí
Tiempo búsqueda de puntos homólogos	9 horas 19 minutos
Tiempo de orientación	7 minutos 39 segundos

## Parámetros de optimización

Parámetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Compensar rolling-shutter	Sí
Tiempo de optimización	42 segundos

## Software

Versión	1.3.1 build 4030
Plataforma	Windows 64

## BLOQUE VIII

# RESEÑAS



LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)

DIANA Nº 1

COORDENADAS LOCALES

X 2013,870  
Y 1963,512  
Altura elipsoidal  
Altura ortométrica 600,442  
Cte. Anamorfosis lineal  
Precisiones:  
 $\sigma_E$  0,002  $\sigma_N$  0,001  $\sigma_H$  0,007

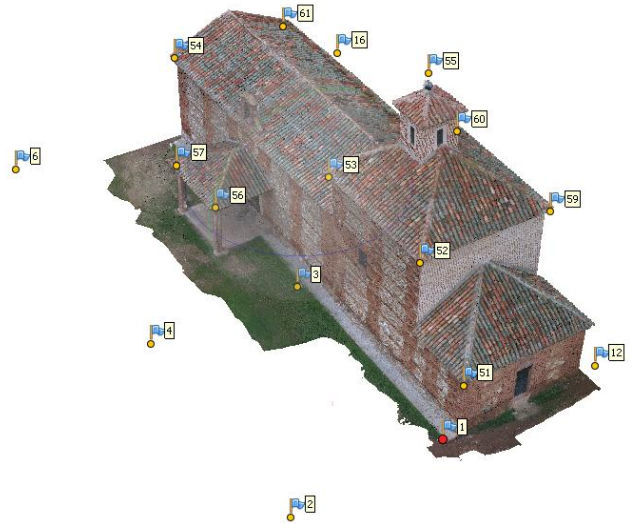
Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

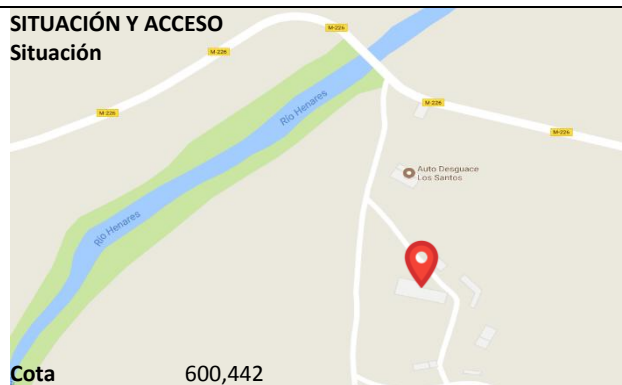
Diana en el suelo

CROQUIS

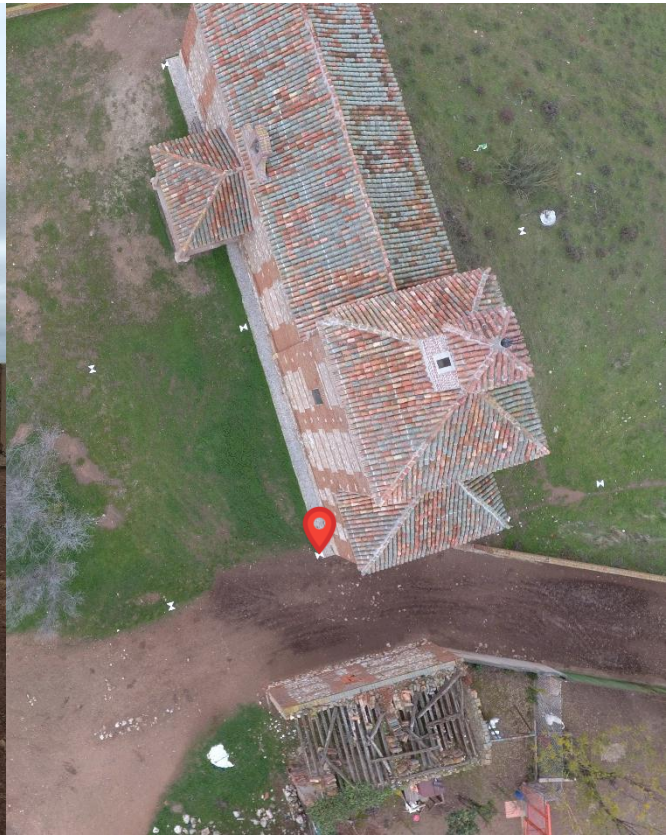
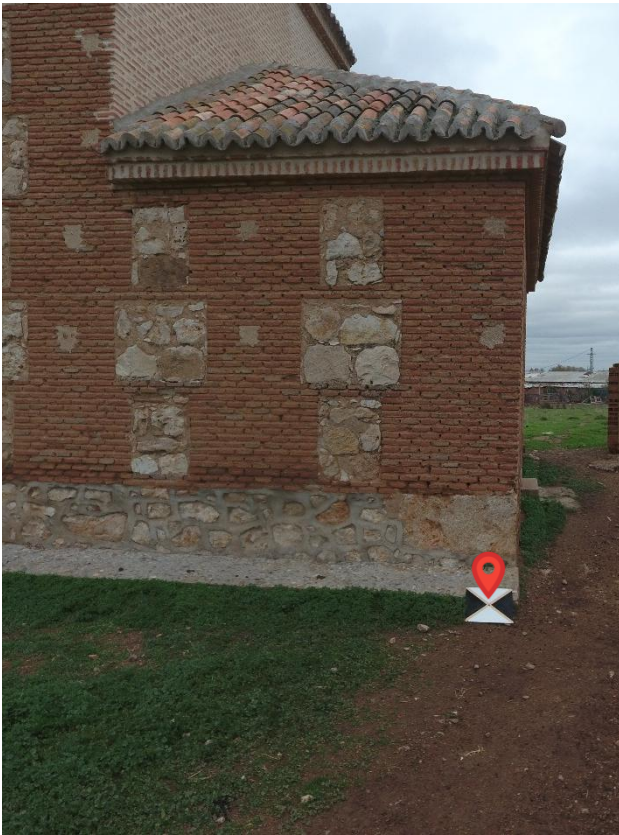


SITUACIÓN Y ACCESO

Situación



FOTOGRAFÍA





## DIANA Nº 2

### COORDENADAS LOCALES

X	2004,685
Y	1964,185
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	600,341
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,002
$\sigma_N$	0,002
$\sigma_H$	0,004

Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

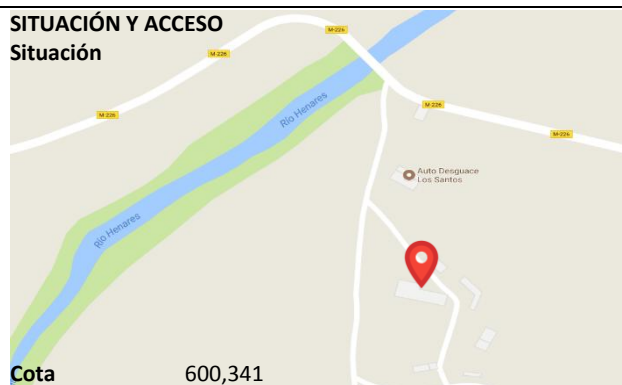
Diana en el suelo

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA





## DIANA Nº 3

### COORDENADAS LOCALES

X	2014,980
Y	1977,574
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	600,333
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,002
$\sigma_N$	0,002
$\sigma_H$	0,004

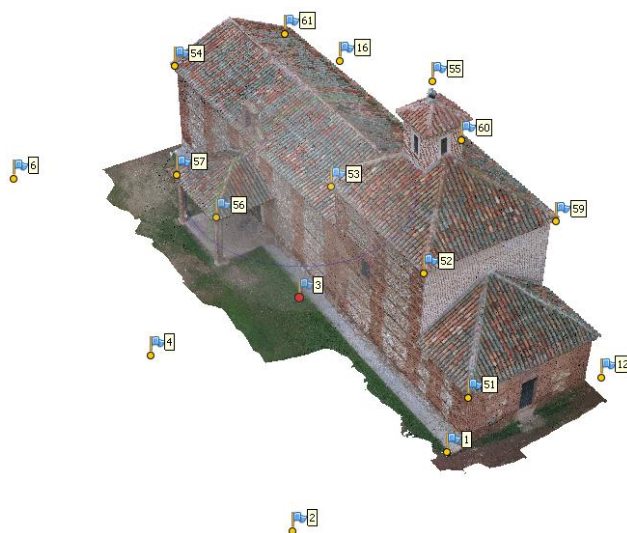
Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

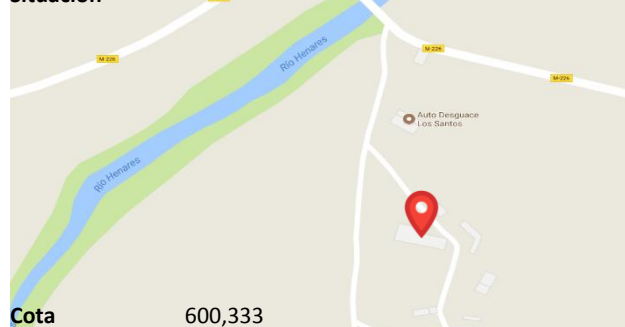
Diana en el suelo

### CROQUIS

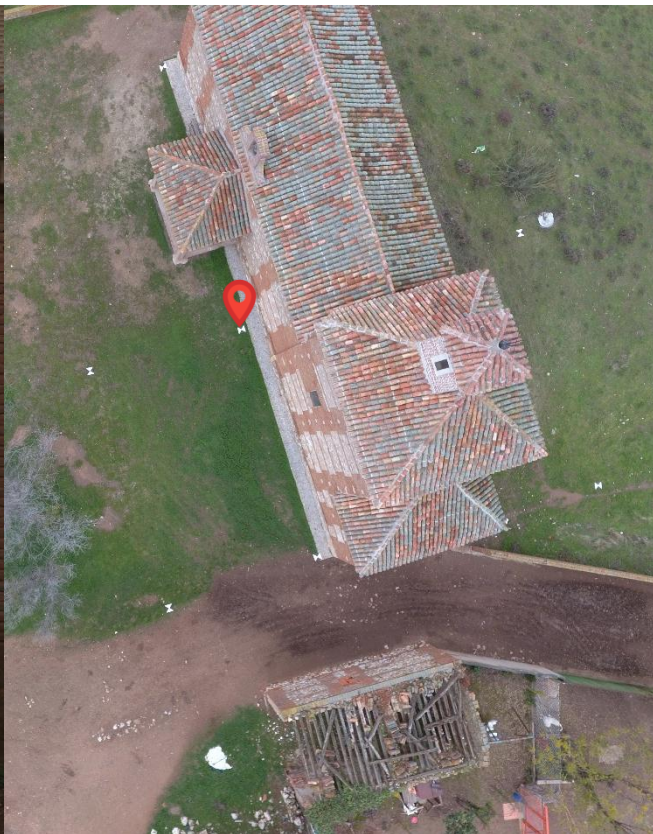


### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA





## DIANA Nº 4

### COORDENADAS LOCALES

X	2005,702
Y	1978,704
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	600,198
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,001
$\sigma_N$	0,004
$\sigma_H$	0,005

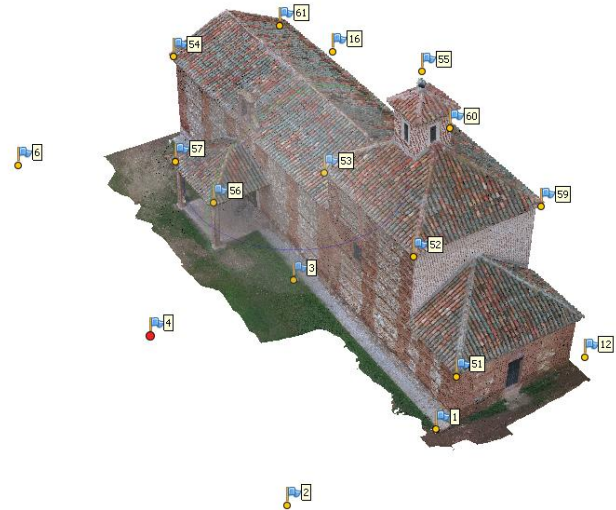
Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

Diana en el suelo

### CROQUIS

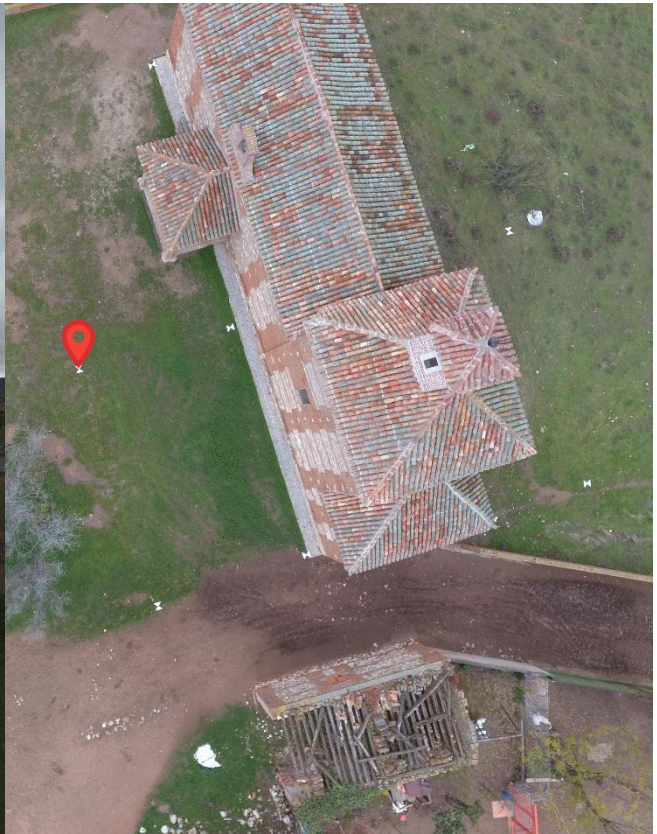


### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA



## DIANA Nº 6

### COORDENADAS LOCALES

X	2007,287
Y	1997,710
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	600,222
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,002
$\sigma_N$	0,002
$\sigma_H$	0,006

Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

Diana en el suelo

### CROQUIS

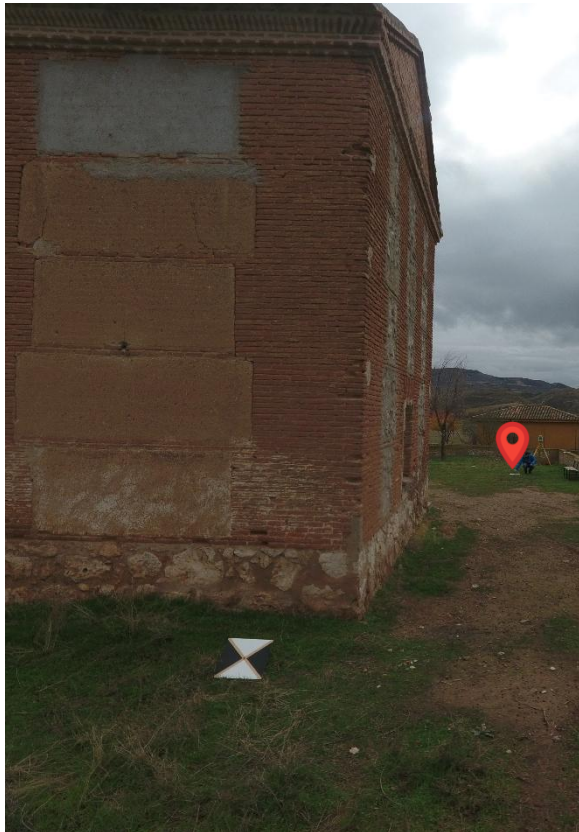


### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA





## SEÑAL Nº 51

### COORDENADAS LOCALES

X	2014,509
Y	1963,072
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	604,293
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,002
$\sigma_N$	0,001
$\sigma_H$	0,004

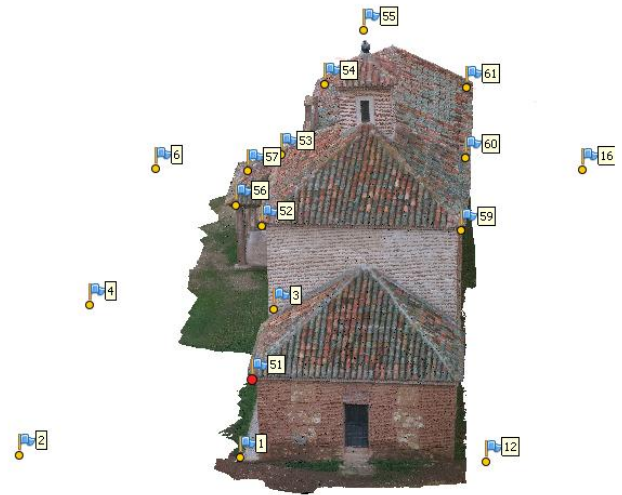
Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

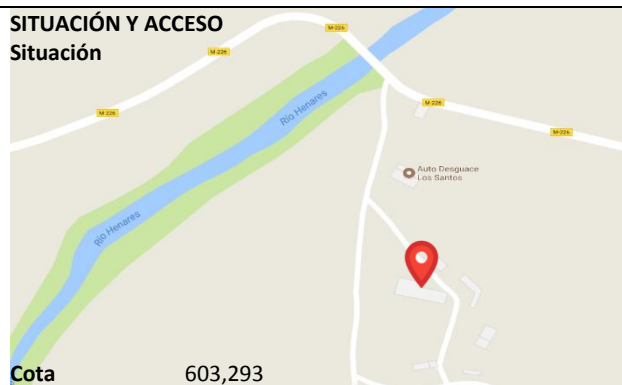
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA



## SEÑAL Nº 52

### COORDENADAS LOCALES

X	2014,938
Y	1967,249
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	609,142
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,002
$\sigma_N$	0,001
$\sigma_H$	0,003

Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

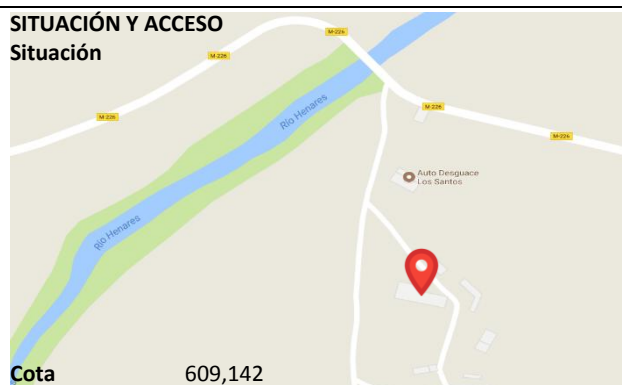
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



Cota

609,142

### FOTOGRAFÍA





## SEÑAL Nº 53

### COORDENADAS LOCALES

X 2015,612  
Y 1975,561  
Altura elipsoidal  
Altura ortométrica 609,150  
Cte. Anamorfosis lineal  
Precisiones:  
 $\sigma_E$  0,002  $\sigma_N$  0,002  $\sigma_H$  0,000

Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

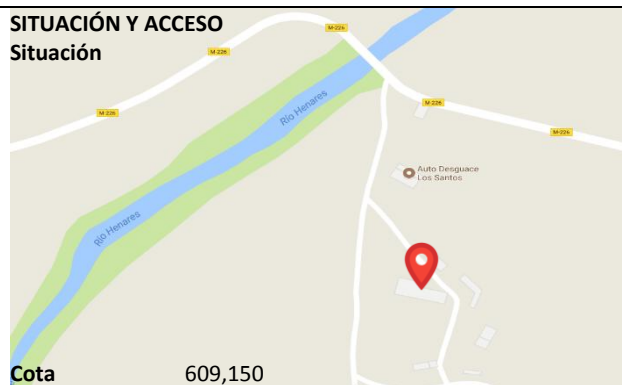
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA



## SEÑAL Nº 54

### COORDENADAS LOCALES

X 2017,756  
Y 1994,368  
Altura elipsoidal  
Altura ortométrica 606,344  
Cte. Anamorfosis lineal  
Precisiones:  
 $\sigma_E$  0,002  $\sigma_N$  0,001  $\sigma_H$  0,006

Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

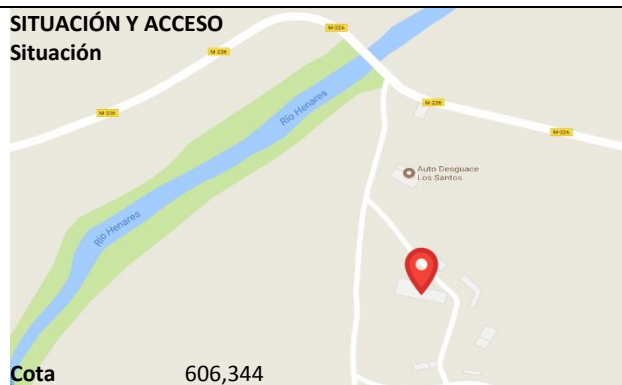
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



Cota 606,344

### FOTOGRAFÍA





## SEÑAL Nº 55

### COORDENADAS LOCALES

X	2019,383
Y	1972,342
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	615,923
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,002
$\sigma_N$	0,002
$\sigma_H$	0,006

Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

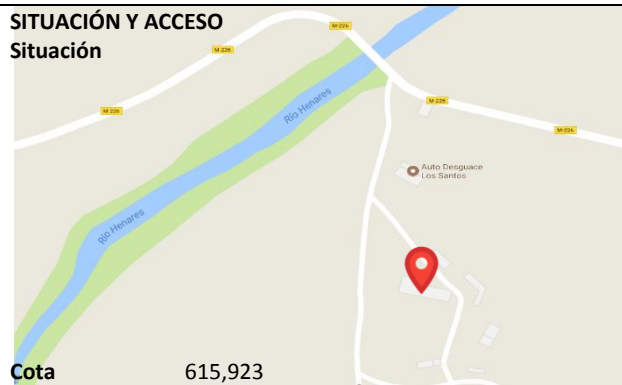
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA



## SEÑAL Nº 56

### COORDENADAS LOCALES

X	2012,979
Y	1982,823
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	603,756
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,001
$\sigma_N$	0,002
$\sigma_H$	0,006

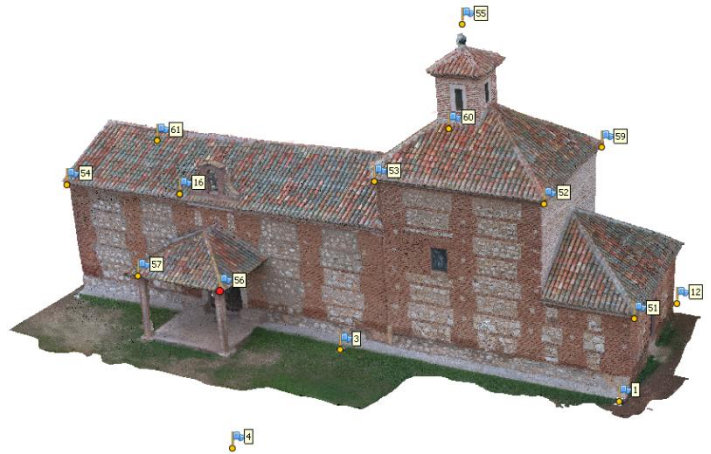
Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

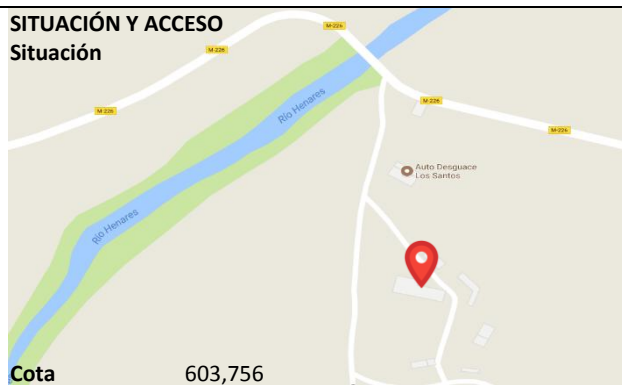
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA





## SEÑAL Nº 57

### COORDENADAS LOCALES

X	2013,416
Y	1987,707
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	603,763
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,001
$\sigma_N$	0,002
$\sigma_H$	0,005

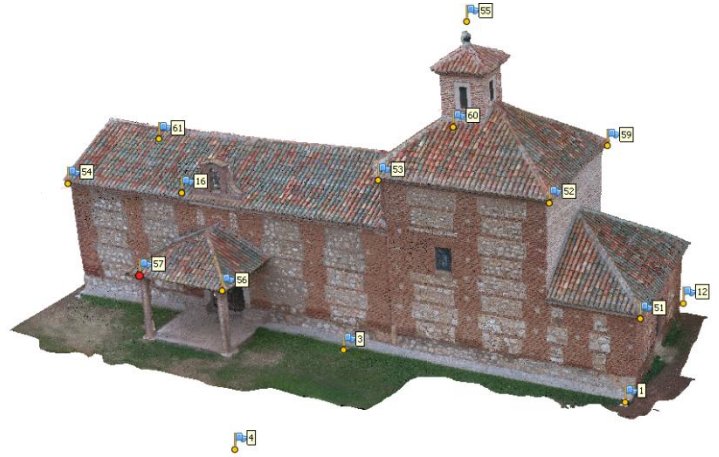
Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

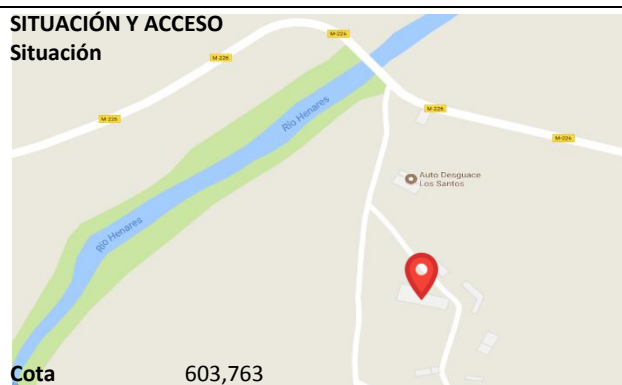
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA



## SEÑAL Nº 59

### COORDENADAS LOCALES

X	2023,076
Y	1966,389
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	609,112
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,002
$\sigma_N$	0,001
$\sigma_H$	0,001

Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

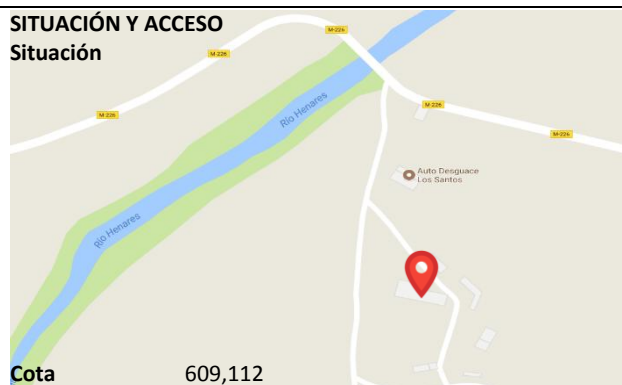
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA





## SEÑAL Nº 60

### COORDENADAS LOCALES

X	2024,002
Y	1974,668
Altura elipsoidal	
Altura ortométrica	609,154
Cte. Anamorfosis lineal	
Precisiones:	
$\sigma_E$	0,001
$\sigma_N$	0,002
$\sigma_H$	0,008

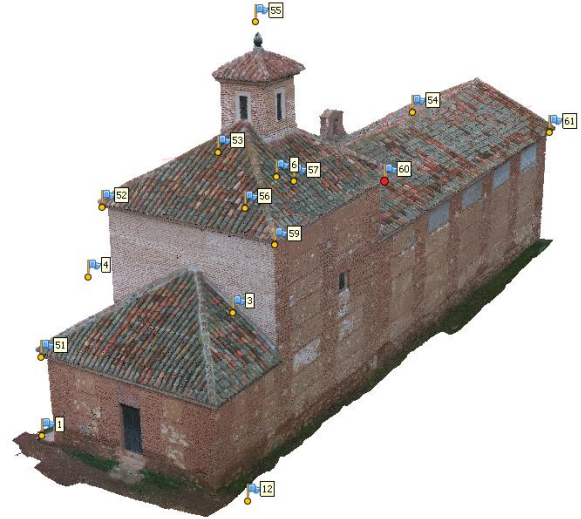
Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

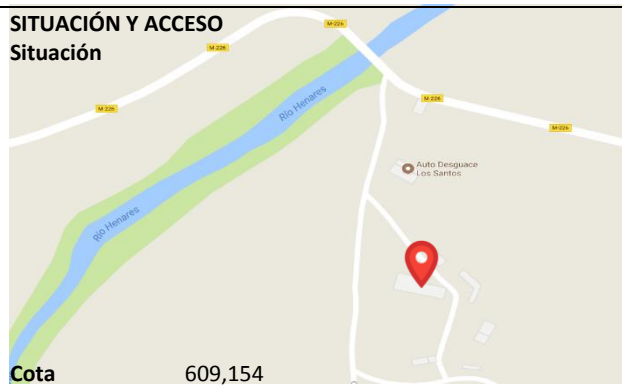
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación



### FOTOGRAFÍA



## SEÑAL Nº 61

### COORDENADAS LOCALES

X 2025,688

Y 1993,578

Altura elipsoidal

Altura ortométrica 606,246

Cte. Anamorfosis lineal

Precisiones:

$\sigma_E$  0,002  $\sigma_N$  0,001  $\sigma_H$  0,006

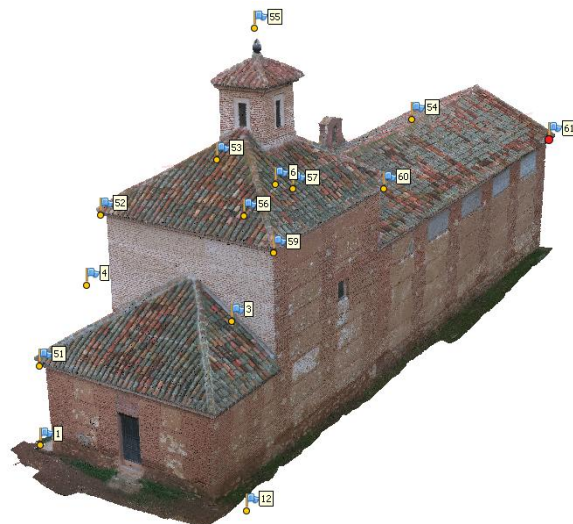
Fecha de señalización

01/12/2016

Tipo de señal

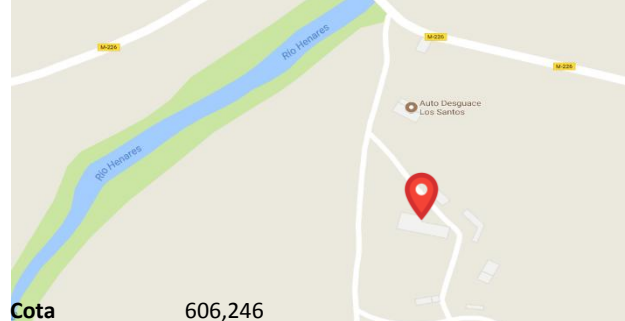
Señal Vertical

### CROQUIS



### SITUACIÓN Y ACCESO

#### Situación

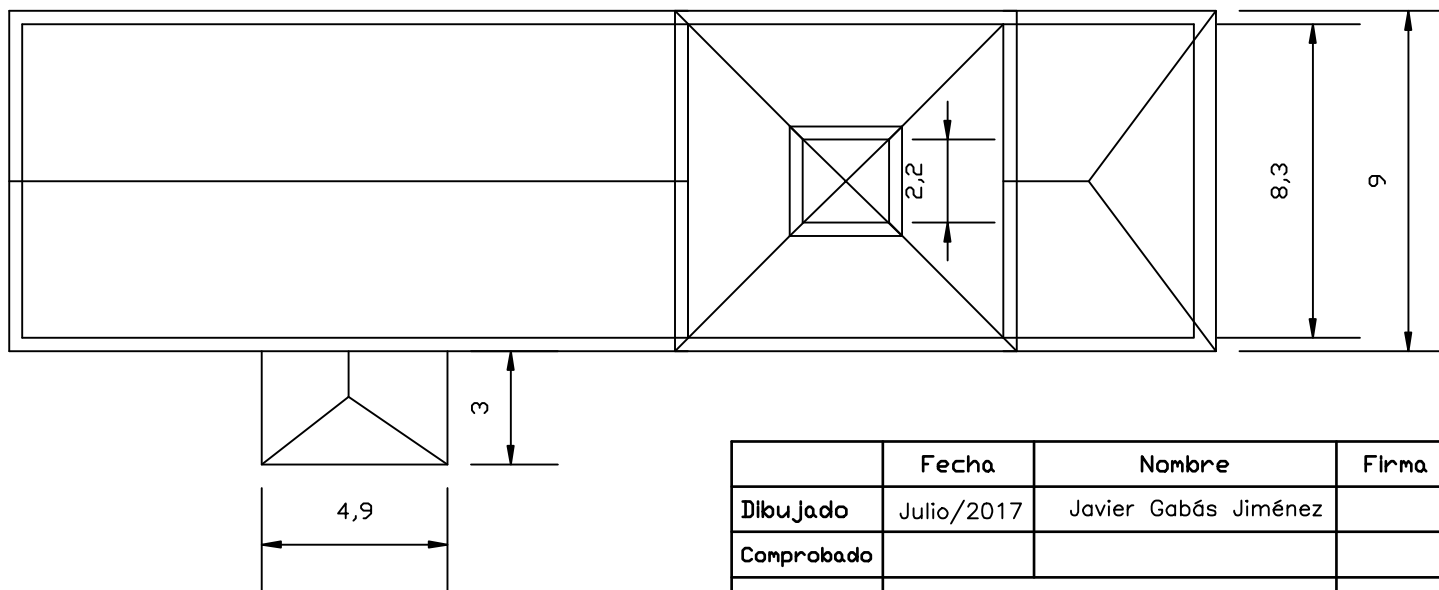
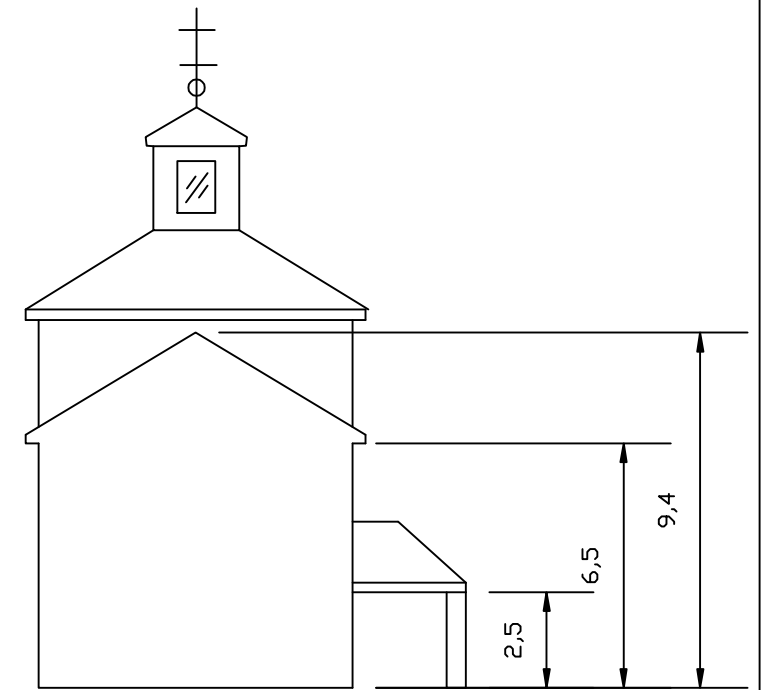
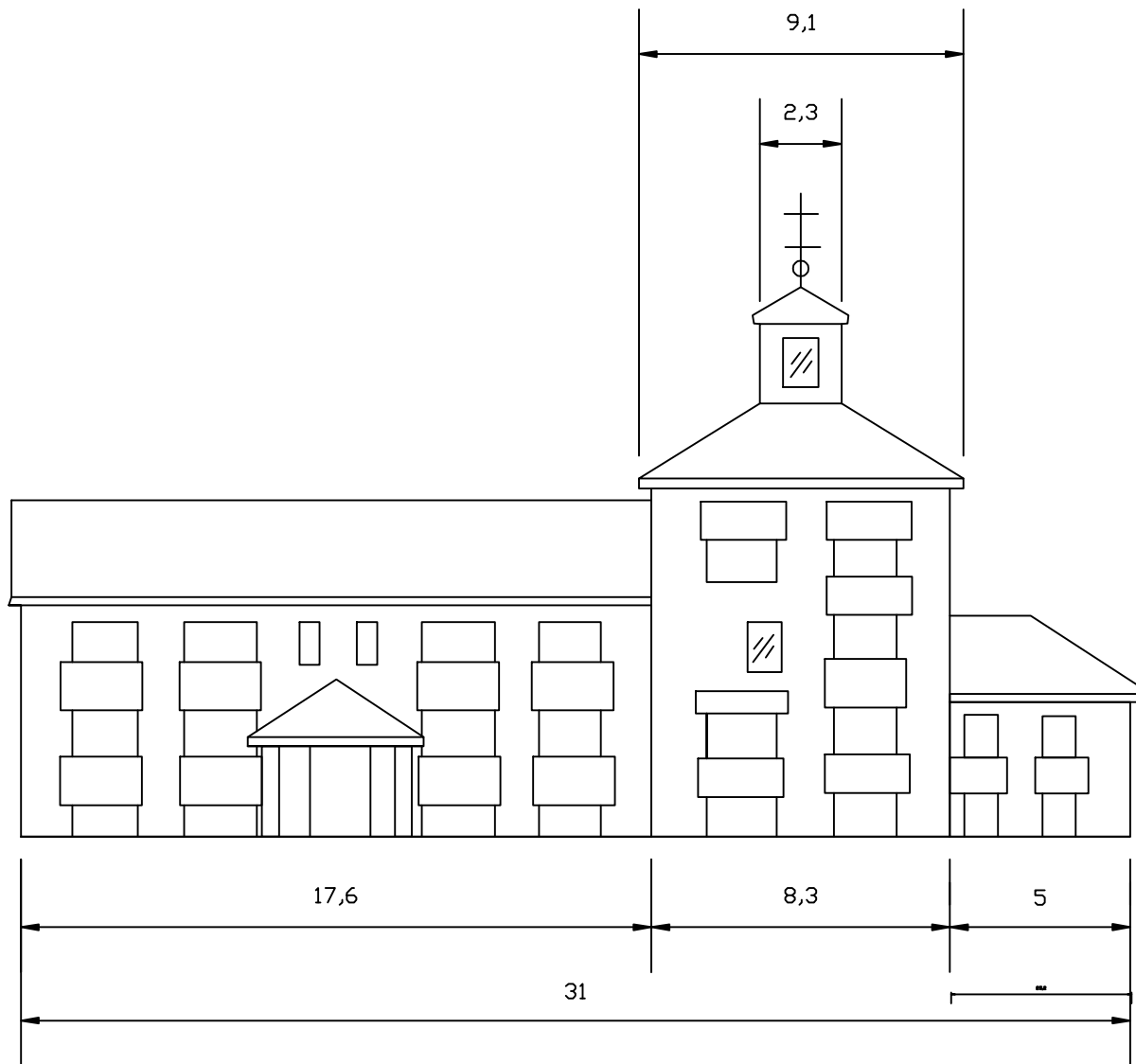
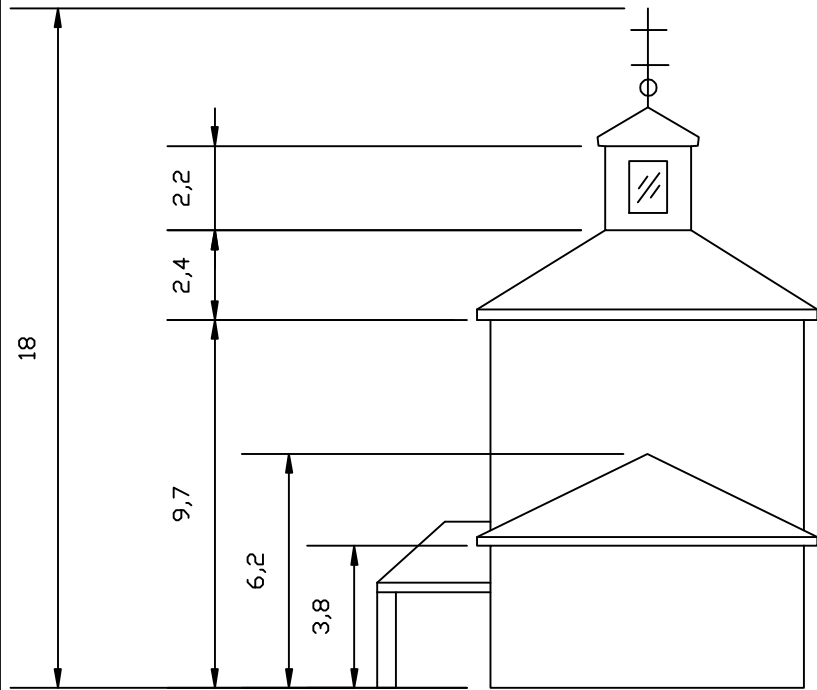


### FOTOGRAFÍA

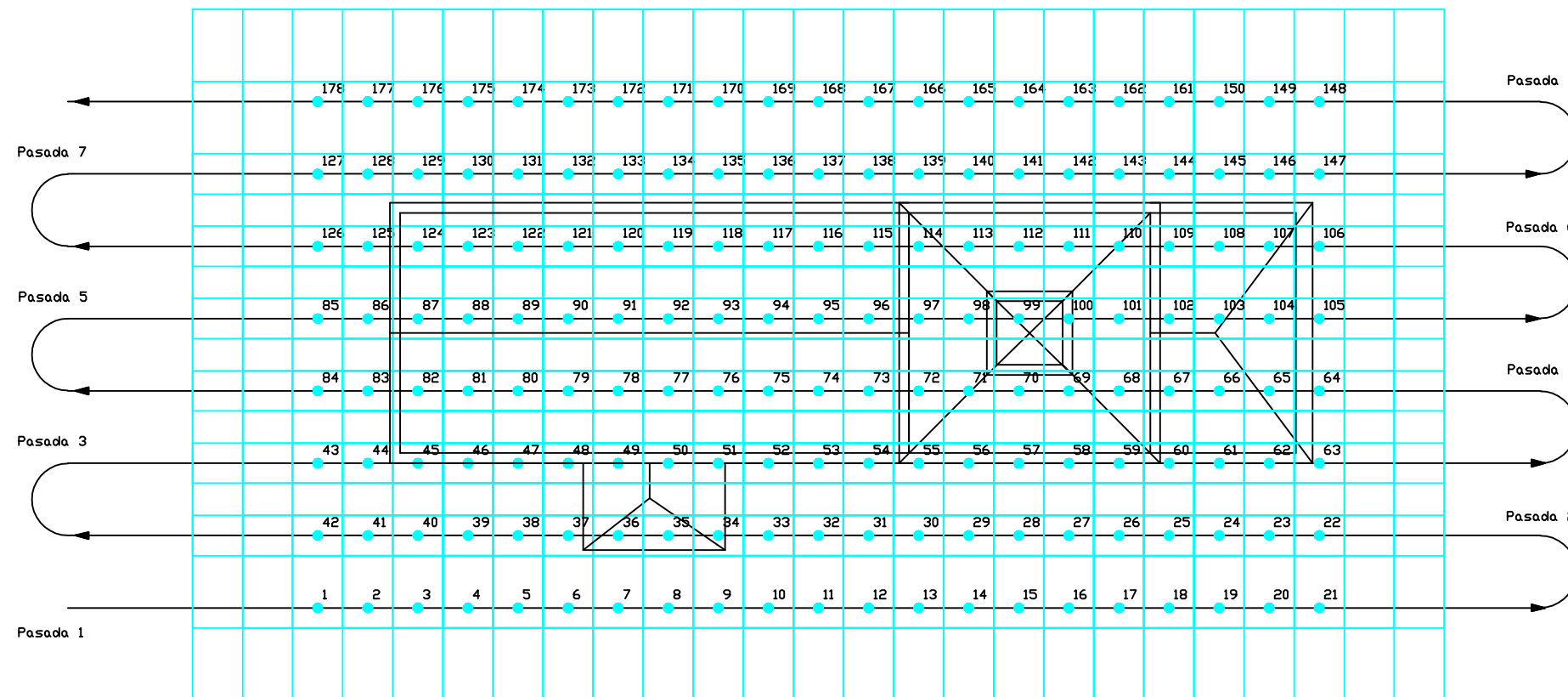
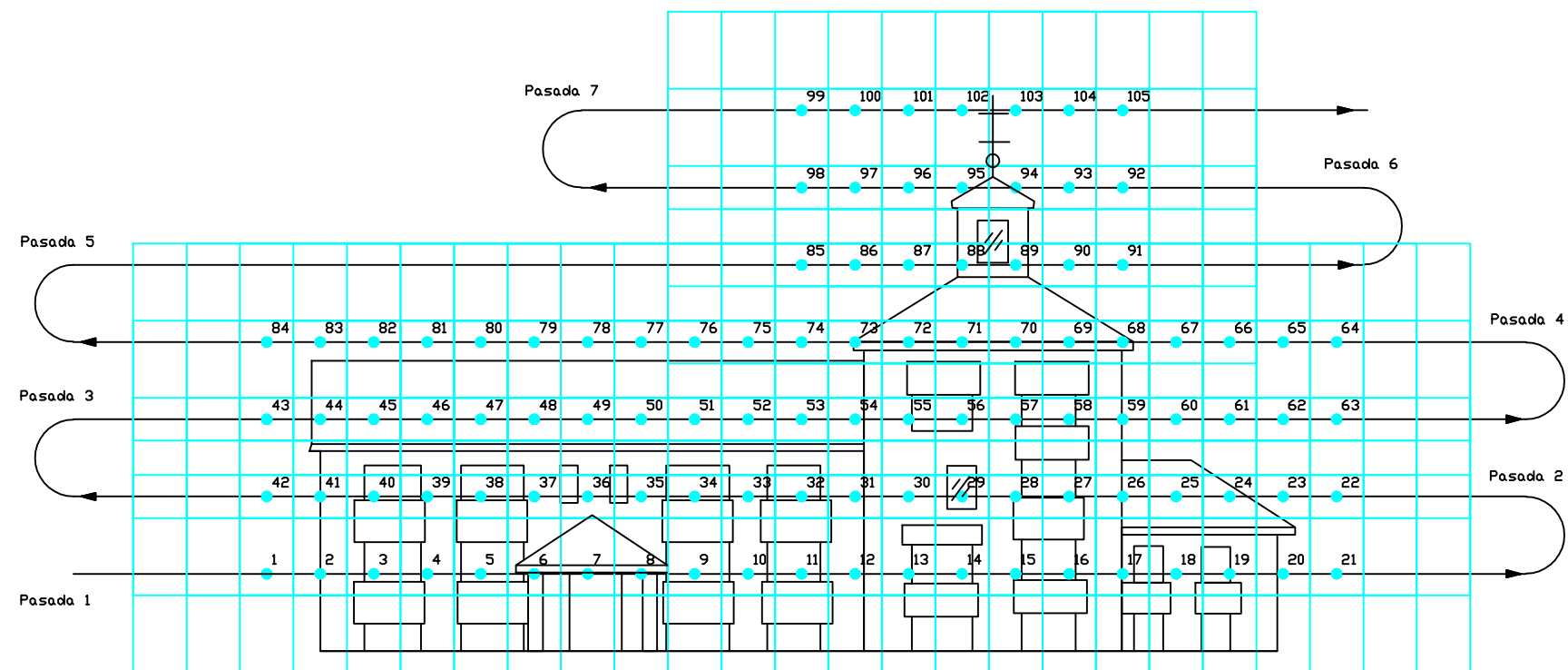
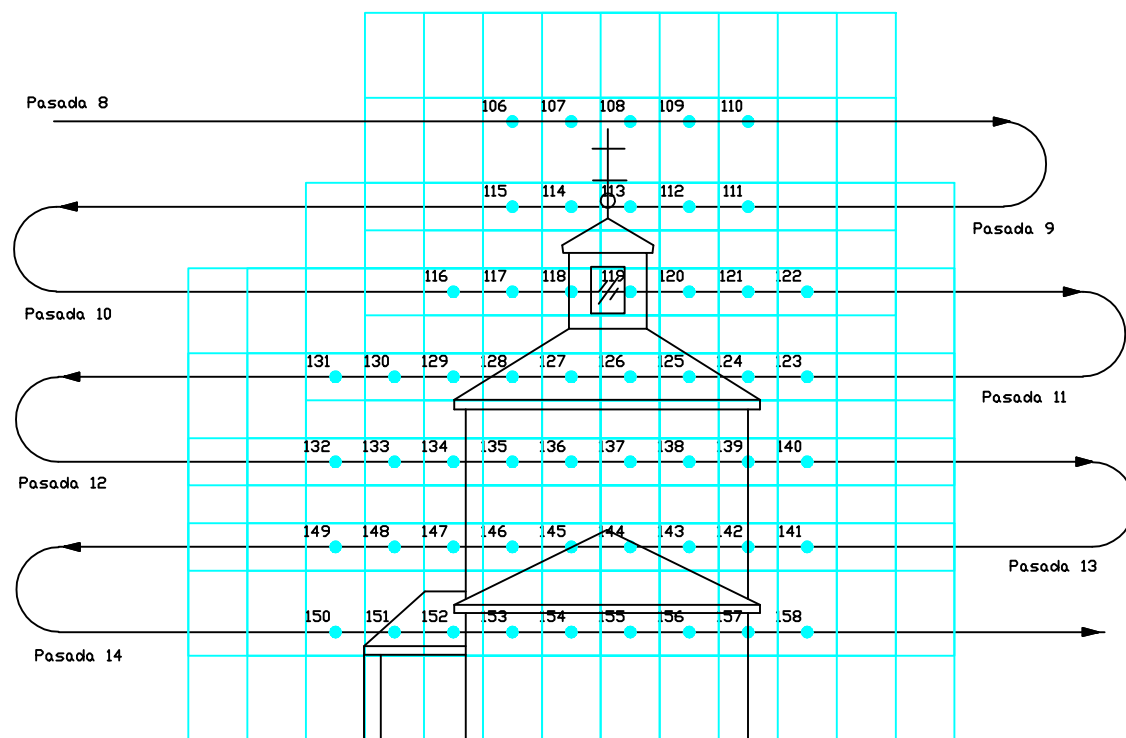


## BLOQUE IX

# PLANOS



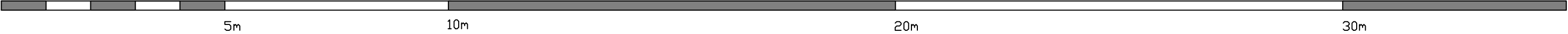
	Fecha	Nombre	Firma	<p>ETSI TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFIA GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA</p>	
Dibujado	Julio/2017	Javier Gabás Jiménez			
Comprobado					
Título	Croquis				
Escala:	Título Proyecto:			Plano nº: 1	CD nº: 1
1:200	LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)			Nombre Archivo: ERMITA.dwg	
				Alumno: Javier Gabás Jiménez	
				Curso: Trabajo Final de Grado	



	Fecha	Nombre	Firma	<div>ETSI TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFIA</div> <div>GRADO EN INGENIERIA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA</div>	
Dibujado	Julio/2017	Javier Gabás Jiménez			
Comprobado					
Título	Plan de vuelo				
Escala	Título Proyecto			Plano nº 2	CD nº 1
	LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)			Nombre Archivo: ERMITA.dwg	
				Alumno: Javier Gabás Jiménez	
				Curso: Trabajo Final de Grado	



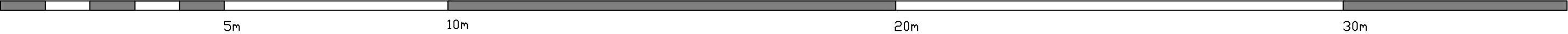
Ortoimagen del alzado frontal



	Fecha	Nombre	Firma	ETSI TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFIA GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA		
Dibujado	Julio/2017	Javier Gabás Jiménez				
Comprobado						
Título	Ortoimagen del alzado frontal					
Escala:  1:90	Título Proyecto:  LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)			Plano nº 3	CD nº 1	
Nombre Archivo: ERMITA.dwg						
Alumno: Javier Gabás Jiménez						
Curso: Trabajo Final de Grado						



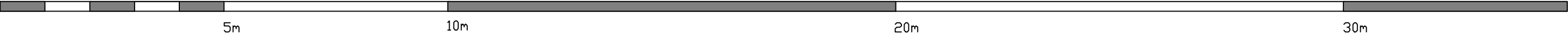
Ortoimagen del alzado trasero



	Fecha	Nombre	Firma	ETSI TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFIA GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA	
Dibujado	Julio/2017	Javier Gabás Jiménez			
Comprobado					
Título	Ortoimagen del alzado trasero				
Escala	Título Proyecto			Plano nº 4	CD nº 1
1:90	LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)			Nombre Archivo: ERMITA.dwg	
				Alumno: Javier Gabás Jiménez	
				Curso: Trabajo Final de Grado	

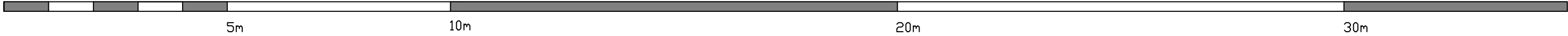


Ortoimagen de la planta



	Fecha	Nombre	Firma	ETSI TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFIA GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA	
Dibujado	Julio/2017	Javier Gabás Jiménez			
Comprobado					
Título	Ortoimagen de la planta				
Escala	Título Proyecto			Plano nº	CD nº
1:90	LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)			5	1
				Nombre Archivo: ERMITA.dwg	
				Alumno: Javier Gabás Jiménez	
				Curso: Trabajo Final de Grado	





	Fecha	Nombre	Firma	ETSI TOPOGRAFÍA, GEODESIA Y CARTOGRAFIA GRADO EN INGENIERÍA GEOMÁTICA Y TOPOGRAFÍA	
Dibujado	Julio/2017	Javier Gabás Jiménez			
Comprobado					
Título	Ortoimagen de los laterales				
Escala	Título Proyecto			Plano nº 6	CD nº 1
1:90	LEVANTAMIENTO Y MODELIZACIÓN DE UNA ERMITA MEDIANTE AERONAVE CONTROLADA REMOTAMENTE (RPA) Y ALGORITMOS DE ESTRUCTURA A PARTIR DE MOVIMIENTO (SFM)			Nombre Archivo: ERMITA.dwg	
				Alumno: Javier Gabás Jiménez	
				Curso: Trabajo Final de Grado	